

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SÔNIA MARIA ASSUNÇÃO VERONEZE**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE COMPÓSITO MADEIRA/PLÁSTICO EM  
GABINETE DE ELETRODOMÉSTICOS “LINHA BRANCA”**

**CURITIBA**  
**2010**

**SÔNIA MARIA ASSUNÇÃO VERONEZE**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE COMPÓSITO MADEIRA/PLÁSTICO EM  
GABINETE DE ELETRODOMÉSTICOS “LINHA BRANCA”**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Design, no Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dalton Razera

CURITIBA

2010

Catálogo na publicação  
Sirlei do Rocio Gdulla – CRB 9ª/985  
Biblioteca de Ciências Humanas e Educação - UFPR

Veroneze, Sonia Maria Assunção

Estudo da aplicação de compósito madeira/plástico em gabinete de eletrodomésticos “linha branca” / Sonia Maria Assunção Veroneze. – Curitiba, 2010.

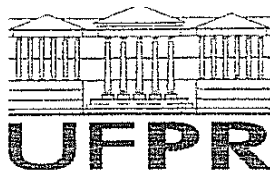
223 f.

Orientador: Prof. Dr. Dalton Razera

Dissertação (Mestrado em Design) – Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Paraná.

1. Eletrodomésticos – desenho(projetos). 2. Eletrodoméstico – compositos poliméricos. 3. Eletrodomésticos – materiais compostos. I. Título.

CDD 683.8



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Humanas Letras e Artes  
Departamento de Design  
Programa de Pós Graduação em Design | PPGDesign

## TERMO DE APROVAÇÃO

**Sônia Maria Assunção Veroneze**

Estudo da aplicação de compósito madeira/plástico em gabinetes de eletrodomésticos "linha branca".

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Design, no Programa de Pós-Graduação em Design, Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Federal do Paraná.

Prof. Dr. Carlos Cziulik  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Examinador externo

Profª. Drª. Ana Lúcia Santos Verdasca Guimarães  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Examinadora convidada

Prof. Dr. Agostinho dos Santos  
Universidade Federal do Paraná  
Examinador interno

Prof. Dr. Dalton Luiz Razera  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca

Curitiba, 23 de junho de 2010.

Profª. Dra. Carla Galvão Spinillo  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação  
em Design | UFPR

DEDICO

A minha mãe Lourdes

Ao meu Pai Lourivaldo

A minha irmã Ana

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pela oportunidade de cursar este Mestrado em Design, e também pela força que me concedeu para que fosse possível concluí-lo.

A meus pais, que sempre se esforçaram para que eu e minha irmã tivéssemos formação superior, e mesmo com muitas dificuldades financeiras sempre priorizaram a educação.

A minha irmã, que sempre teve paciência em me ajudar nas correções ortográficas dos meus trabalhos e no aprendizado da língua inglesa.

Ao meu orientador dr. Dalton Razera pelo repasse de valiosas experiências e conhecimentos adquiridos em sua carreira.

Aos professores dr. Aguinaldo dos Santos, dra. Liliane Chaves e demais professores do Programa de Mestrado em Design da UFPR.

À Companhia Paranaense de Energia – COPEL –, por parte dos meus gerentes Paulo Ramos e Daniel Novak, pela ajuda e compreensão que tornaram possível aliar mestrado e vida profissional.

Ao professor dr. Setsuo Iwakiri pela utilização do Laboratório de Painéis de Madeira do curso de Pós Graduação da Engenharia Florestal – UFPR.

Ao Ademir, professor Ricardo e Rosilane pela ajuda na fabricação das chapas e dos corpos-de-prova.

À empresa Inbrasfama pelas amostras de farinha de madeira.

À empresa GPC Química pelas amostras de resina Melamina-Uréia-Formaldeído.

À empresa Hexion Química, por parte do Mário, pelas amostras de resina Melamina-Uréia-Formaldeído.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de cursar Mestrado em Design.

A todos os meus amigos e colegas de mestrado.

Porque, quem é Deus se não o Senhor?  
E quem é rochedo senão o nosso Deus?  
Deus é o que me cinge de força e  
aperfeiçoa o meu caminho.

Livro de Salmos 18: 31-32

## RESUMO

Esta pesquisa refere-se à aplicação de compósito madeira/plástico – partículas homogêneas de *pinus spp.* e resina melamina-uréia-formaldeído (MUF), com média emissão de formol – na indústria de eletrodomésticos “linha branca”, como opção de novo material, além da tradicional chapa de aço pré-pintada, da chapa de aço inox e do plástico. O processo de produção utilizado para fabricação dos compósitos foi a moldagem por compressão a quente, com temperaturas solicitadas nas especificações técnicas para cura dos polímeros. Para avaliação das propriedades deste material foram realizados ensaios, com duas densidades diferentes do compósito, visando à avaliação da densidade obtida; da absorção de água e do inchamento; da resistência térmica e da rigidez dielétrica (resistência elétrica). Como complemento, realizou-se: a comparação do impacto ambiental do compósito e da chapa de aço, através do programa *Simapro*, e a comparação de peso entre o compósito e a chapa de aço pré-pintada. Além destes estudos, foram aplicados diferentes tipos de pintura, como verniz e esmalte sintético, em algumas peças de compósito, o qual permite cores e acabamentos diferenciados. Esta pesquisa também apresenta uma proposta conceitual de aplicação do compósito em gabinetes de eletrodomésticos “linha branca”, tendo como referência uma adega para vinhos. Os resultados dos ensaios foram satisfatórios e demonstraram que o compósito apresenta baixos índices de absorção de água e inchamento, alto poder de rigidez dielétrica (resistência elétrica), na ausência de umidade, resistência térmica três vezes inferior à do poliuretano (PUR) e diferença no design do produto ao se utilizar o compósito, pois este permite formas diferenciadas, como ranhuras e encaixes.

Palavras-Chave: Design, Compósitos madeira/plástico, Eletrodomésticos “linha branca”, Novos materiais.



## **ABSTRACT**

This research concerns the application of composite wood/plastic – homogeneous particles of pinus spp. resin and melamine-urea-formaldehyde (MUF), with an average emission of formaldehyde – in the white goods appliance industry as an option of new material, as another option for the use of traditional pre-painted steel sheet, stainless steel sheet and plastic. The production process used to manufacture the composite was heat compression molding, with temperatures according to the technical specifications required to cure the polymer. To evaluate properties of this material, tests were performed with two different densities of composite, in order to evaluate the bulk density, water absorption and swelling, heat resistance and dielectric strength (electrical resistance). In addition to these studies, a comparison between the environmental impact of the composite and steel sheet was taken through the SimaPro program. Also, a weight comparison between composite pieces and pre-painted steel sheet was carried out. Besides these tests, different kinds of paint were applied on, such as lacquer and synthetic enamel, to some pieces of composite, which allows different colors and finishes. This research also presents a conceptual framework for applying composite cabinets to white goods appliances, focusing on a wine cellar specifically. The tests results has been satisfactory and showed the composite has a low rate of water absorption and swelling, high dielectric strength power (electrical resistance) in the absence of moisture and thermal resistance three times lower than the polyurethane (PUR); besides, they have presented the possibility of improvements in product design when compared to the use of steel sheet, because composite allows different shapes, such as grooves and notches.

**Keywords:** Design, Composite wood/plastic, White goods appliances, New materials.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

GRÁFICO 1 – PRODUÇÃO FÍSICA NO BRASIL (ANO BASE 2002 / %)	22
GRÁFICO 2 – PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS (% / 1000 DOMICÍLIOS)	24
FIGURA 1 – TIPOS DE RESÍDUOS DE MADEIRA	35
FIGURA 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE MADEIRA	36
FIGURA 3 – ESQUEMA PROCESSO DE EXTRUSÃO	42
FIGURA 4 – ESQUEMA PROCESSO DE INJEÇÃO	43
FIGURA 5 – ESQUEMA DO PROCESSO DE MOLDAGEM A QUENTE	45
FIGURA 6 – PISOS FABRICADOS EM COMPÓSITO	47
FIGURA 7 – EXEMPLO DE CERCAS	47
FIGURA 8 – EXEMPLO DE DECKS	47
FIGURA 9 – EXEMPLO DE PRODUTOS EM COMPÓSITO MADEIRA/PLÁSTICO	48
FIGURA 10 – <i>WOOD-STOCK</i>	49
FIGURA 11 – <i>WOOD-STOCK</i> SEM REVESTIMENTO	50
FIGURA 12 – MATERIAL GORNAF	50
FIGURA 13 – <i>PLAST-WOOD</i>	51
FIGURA 14 – ESQUEMA DE FABRICAÇÃO DO COMPÓSITO	52
FIGURA 15 – PLACAS DE COMPÓSITOS MADEIRA/PLÁSTICO	52
FIGURA 16 – GAVETA	53
FIGURA 17 – CAIXAS PARA TOMADA	53
FIGURA 18 – PHILIP STARCK”	53
FIGURA 19 – INDÚSTRIA SIDERÚRGICA – TIPOS DE AÇO	60
FIGURA 20 – IMAGENS DA CHAPA DE AÇO PRÉ-PINTADA NA “LINHA BRANCA”	62
FIGURA 21 – PROCESSO DE PRÉ-PINTURA DO AÇO	62
FIGURA 22 – GELADEIRA ANTIGA, 1920	63
FIGURA 23 – GELADEIRA ANTIGA (VISTA INTERNA) 1920	63
FIGURA 24 – REFRIGERADOR STEWART WARNER 1933	64
FIGURA 25 – REFRIGERADOR CONSUL JÚNIOR	65

FIGURA 26 – REFRIGERADOR CONSUL CM451.....	66
FIGURA 27 – EXEMPLO DE FOGÃO DA DÉCADA DE 50 .....	66
FIGURA 28 – DIFERENTES TIPOS DE REFRIGERADORES DA DÉCADA DE 1960.....	67
FIGURA 29 – MÁQUINA DE LAVAR ROUPA.....	68
FIGURA 30 – REFRIG. JÚNIOR TRAILER.....	69
FIGURA 31 – EXEMPLO DE PRODUTOS DÉCADA DE 1980.....	70
FIGURA 32 – REFRIG. BIPLEX .....	71
FIGURA 33 – MINIRREFRIGERADOR BRASTEMP .....	72
FIGURA 34 – MODELO DE MICRO-ONDAS COM ADESIVOS .....	72
FIGURA 35 – MINIGELADEIRA RETRÔ ANOS 50 .....	73
FIGURA 36 – MÁQUINA DE LAVAR ROUPA RETRÔ .....	74
FIGURA 37 – EXEMPLO DE GELADEIRAS.....	74
FIGURA 38 – EXEMPLO DE REFRIGERADOR.....	75
FIGURA 39 – FORNO MICRO-ONDAS EM INOX.....	75
FIGURA 40 – EXEMPLO DE REFRIGERADORES .....	76
FIGURA 41 – MICRO-ONDAS BRASTEMP .....	76
FIGURA 42 – LAVADORA EGGO .....	77
FIGURA 43 – ADEGA.....	102
FIGURA 44 – FASES DA PESQUISA.....	103
FIGURA 45 – FARINHA DE MADEIRA.....	105
FIGURA 46 – ENCOLADEIRA TIPO TAMBOR ROTATÓRIO.....	112
FIGURA 47 – FORMAÇÃO DO COLCHÃO .....	113
FIGURA 48 – PRENSA PILOTO SIEMPELKAMP .....	114
FIGURA 49 – PRENSAGEM DAS CHAPAS.....	114
FIGURA 50 – DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA NAS CHAPAS.....	115
FIGURA 51 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	117
FIGURA 52 – ENSAIO ABSORÇÃO E INCHAMENTO.....	118
FIGURA 53 – LASER COMP MODELO FOX 200.....	121
FIGURA 54 – EXEMPLO DO PROCESSO .....	121
FIGURA 55 – REGIÃO DE TROCA TÉRMICA CONSIDERADA.....	122

FIGURA 56 – MÁQUINA HIPOT .....	124
FIGURA 57 – MATERIAIS PARA ENSAIO .....	124
FIGURA 58 – DETALHE ENSAIO.....	124
GRÁFICO 3 – RESISTÊNCIA TÉRMICA DENSIDADE 0,7 g/cm <sup>3</sup> E 0,9 g/cm <sup>3</sup> .....	135
GRÁFICO 4 – DESVIO PADRÃO DENSIDADE 0,7 g/cm <sup>3</sup> E 0,9 g/cm <sup>3</sup> .....	135
FIGURA 59 – ENSAIO RIGIDEZ DIELETRICA DO COMPÓSITO COM DENSIDADE.....	
0,9.g/cm <sup>3</sup> .....	137
GRÁFICO 5 – GRÁFICO CARACTERIZAÇÃO.....	139
GRÁFICO 6 – GRÁFICO PONDERAÇÃO .....	141
FIGURA 60 – PROPOSTAS DE ACABAMENTO PARA O COMPÓSITO.....	143
FIGURA 61 – PROJETO LATERAIS DE ADEGA EM COMPÓSITO .....	146
FIGURA 62 – PROJETO LATERAIS DE ADEGA EM COMPÓSITO E PUR.....	147
FIGURA 63 – DETALHE INSTALAÇÃO DA BORRACHA.....	147
FIGURA 64 – VISTA SUPERIOR E CORTE ADEGA.....	148
FIGURA 65 – MODELO DE ADEGA FABRICADA COM COMPÓSITO.....	149
FIGURA 66 – EXEMPLO RANHURAS .....	149
FIGURA 67 – EXEMPLO DE MODULARIZAÇÃO .....	151
FIGURA 68 – ENSAIO COM COBRE .....	213
FIGURA 69 – ENSAIO COM BORRACHA.....	213
FIGURA 70 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO (0,9 g/cm <sup>3</sup> ).....	214
FIGURA 71 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO (0,7 g/cm <sup>3</sup> ).....	214
FIGURA 72 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO PEÇA 01 (DEGRADAÇÃO).....	214
FIGURA 73 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO PEÇA 02 (DEGRADAÇÃO).....	214
FIGURA 74 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO.....	214
FIGURA 75 – COMPÓSITO E AÇO SOBRE A TERRA. ....	217
FIGURA 76 – COMPARAÇÃO ANÁLISE DECOMPOSIÇÃO DO COMPÓSITO.....	219
FIGURA 77 – ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DAS CHAPAS DE AÇO .....	221

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – INDICADORES SÓCIO-ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE BASE.....	
FLORESTAL E DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (2007)26	
TABELA 2 – EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE MADEIRA .....	27
TABELA 3 – MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS.....	87
TABELA 4 – MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS.....	100
TABELA 5 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	108
TABELA 6 – CONSTITUIÇÃO DE CADA PAINEL .....	108
TABELA 7 – RESUMO DAS PLACAS .....	111
TABELA 8 – DENSIDADE MÉDIA CORPOS-DE-PROVA 0,9 g/cm <sup>3</sup> .....	129
TABELA 9– DENSIDADE MÉDIA CORPOS-DE-PROVA 0,7 g/cm <sup>3</sup> .....	129
TABELA 10 – SÍNTESE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS CORPOS-DE-PROVA.....	130
TABELA 11 – SÍNTESE INCHAMENTO CORPOS-DE-PROVA .....	132
TABELA 12 – MÉDIA DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DENSIDADE 0,7 g/cm <sup>3</sup> E 0,9 g/cm <sup>3</sup> .	134
TABELA 13 – RESULTADO ENSAIO DE RIGIDEZ DIELETRICA .....	138
TABELA 14 – TABELA COMPARATIVA DOS RESULTADOS GRÁFICO.....	
CARACTERIZAÇÃO.....	140
TABELA 15 – TABELA COMPARATIVA DOS RESULTADOS GRÁFICO PONDERAÇÃO	141
TABELA 16 – COMPARAÇÃO PESOS COMPÓSITOS E CHAPA DE AÇO .....	142
TABELA 17 – PROPRIEDADES FÍSICAS: COMPÓSITO, AÇO E PUR .....	186
TABELA 18 – ENSAIO RESISTÊNCIA TÉRMICA PRETENDIDA 0,9 g/cm <sup>3</sup> .....	188
TABELA 19 – ENSAIO RESISTÊNCIA TÉRMICA PRETENDIDA 0,7 g/cm <sup>3</sup> .....	188

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACV – Análise do Ciclo de Vida

AL – Adesivo Líquido

AS – Adesivo Sólido

ASTM – American Society for Testing and Materials

CL – Catalisador Líquido

COPEL – Companhia Paranaense de Energia

CS – Catalisador Sólido

D – Densidade

DETF – Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal

K – Condutividade Térmica

kV – Quilo Volts

m – Massa

MØ – Massa de partículas

MDF – Medium Density Fiberboard

MF – Melamina-Formaldeído

MOE – Módulo de Elasticidade

MOR – Módulo de Ruptura

MUF – Melamina-Uréia-Formaldeído

NBR – Norma Brasileira Registrada

OSB – *Oriented Strand Board*

PE – Polietileno

PEHD – Polietileno de Alta Densidade

PELD – Polietileno de Baixa Densidade

PH – Potencial Hidrogeniônico

PIB – Produto Interno Bruto

PP – Polipropileno

PS (EPS) – Poliestireno Expandido

PUR – Poliuretano

PVC – Cloreto de Polivinila

RE – Resistência Elétrica

RT – Resistência Térmica

TS – Teor de sólido do adesivo

UF – Uréia Formaldeído

UV – Ultravioleta

UFPR – Universidade Federal do Paraná

v – Volume

V – Volts

VOC – Compostos Orgânicos Voláteis

WPC – *Wood-Plastic-Composite*

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1 PROBLEMA .....	20
1.2 OBJETIVOS .....	20
1.3 HIPÓTESES .....	21
1.4 JUSTIFICATIVA .....	21
1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	30
1.6 VISÃO GERAL DO MÉTODO DE PESQUISA.....	30
1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	30
<b>2. COMPÓSITOS MADEIRA/PLÁSTICO.....</b>	<b>32</b>
2.1 DEFINIÇÃO.....	32
2.2 HISTÓRICO .....	32
2.3 MADEIRA .....	34
2.3.1 Resíduos de Madeira .....	34
2.3.2 Características e Propriedades dos Resíduos de Madeira.....	36
2.4 AGLUTINANTES .....	38
2.4.1 Definição.....	38
2.4.2 Termoplástico e Termorrígido (Termofixo) .....	39
2.4.3 Aditivos .....	40
2.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO .....	41
2.5.1 Extrusão e Injeção .....	41
2.5.2 Compressão .....	43
2.5.2.1 Processos de moldagem por compressão .....	44
2.6 DESIGN E A APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS MADEIRA/PLÁSTICO .....	46
2.6.1 Produtos Desenvolvidos Através de Extrusão e Injeção .....	46
2.6.2 Produtos Desenvolvidos Através de Compressão.....	52
2.6.3 Novas Propostas Para Aplicação de Compósito Madeira/Plástico .....	54
<b>3. PRODUTOS “LINHA BRANCA” .....</b>	<b>55</b>



3.1	DEFINIÇÃO .....	55
3.2	HISTÓRICO .....	56
3.2.1	A Indústria Mundial de Eletrodomésticos “Linha Branca” .....	56
3.2.2	A Indústria Brasileira de Eletrodomésticos “Linha Branca” .....	57
3.3	O AÇO UTILIZADO NA “LINHA BRANCA” .....	59
3.3.1	Definição.....	59
3.4	PRODUTOS “LINHA BRANCA” .....	63
<b>4.</b>	<b>PROPRIEDADES DO COMPÓSITO MADEIRA/PLÁSTICO .....</b>	<b>80</b>
4.1	PROPRIEDADES MECÂNICAS .....	80
4.1.1	Módulo de Elasticidade e Ruptura .....	80
4.1.2	Compressão Paralela .....	81
4.1.3	Ligação Interna .....	82
4.2	PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS MATERIAIS .....	82
4.2.1	Choques Elétricos.....	82
4.2.2	Materiais Isolantes Elétricos .....	83
4.3	PROPRIEDADE TÉRMICA DOS MATERIAIS .....	84
4.3.1	Mecanismos da Transferência do Calor .....	84
4.3.2	Condução .....	84
4.3.3	Convecção.....	85
4.3.4	Radiação de Calor .....	86
4.3.5	Materiais Isolantes Térmicos .....	86
4.3.6	Isolantes Térmicos na “Linha Branca” .....	89
<b>5.</b>	<b>O CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS .....</b>	<b>91</b>
5.1	IDENTIFICAÇÃO DAS FASES DO CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS .....	91
5.2	TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	93
5.3	TINTAS E ACABAMENTOS .....	95
5.4	IDENTIFICAÇÃO DO IMPACTO E PROJETO CONSCIENTE .....	98
5.5	PROPOSTA CONCEITUAL DE APLICAÇÃO DE COMPÓSITO NA “LINHA.....	
	BRANCA” .....	101

<b>6. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>103</b>
6.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA .....	103
6.2 PESQUISA EXPERIMENTAL.....	104
6.2.1 Características das Placas.....	104
6.2.2 Caracterização dos Materiais.....	105
6.2.2.1 Partículas de madeira .....	105
6.2.2.2 Resinas.....	105
6.2.2.3 Catalisador.....	106
6.2.2.4 Impermeabilizante.....	106
6.2.3 Processo de Produção Utilizado .....	106
6.2.4 Ensaios.....	106
6.2.5 Metodologia de Fabricação dos Produtos .....	107
6.2.5.1 Delineamento experimental.....	107
6.2.5.2 Quantificação dos componentes das chapas .....	108
6.2.5.3 Massa de partículas .....	109
6.2.5.4 Quantidade de Adesivo .....	109
6.2.5.5 Quantidade de catalisador .....	110
6.2.5.6 Quantidade de material para cada painel.....	110
6.2.6 Fabricação das Chapas .....	111
6.2.6.1 Preparação dos materiais .....	111
6.2.7 Confecção dos Corpos-de-Prova .....	114
6.3 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS .....	116
6.3.1 Ensaio de Densidade.....	116
6.3.2 Ensaios de Absorção de Água e de Inchamento.....	117
6.3.2.1 Cálculo e expressão dos resultados:.....	119
6.3.3 Ensaios de Resistência Térmica .....	119
6.3.4 Ensaios de Rigidez Dielétrica (Resistência elétrica).....	123
6.3.5 Ciclo de Vida do Produto .....	125
6.3.5.1 Comparação do impacto ambiental – programa <i>Simapro</i> .....	125
6.3.6 Comparação de Peso Entre o Aço e o Compósito .....	126

6.3.7 Proposta de Acabamento Para Gabinetes Fabricados com Compósito .....	126
6.4 ANÁLISE DA METODOLOGIA.....	127
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>128</b>
7.1 ENSAIO DE DENSIDADE .....	128
7.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	129
7.2.1 Discussão .....	131
7.3 INCHAMENTO .....	131
7.3.1 Discussão .....	134
7.4 RESISTÊNCIA TÉRMICA.....	134
7.4.1 Discussão .....	136
7.5 ENSAIO DE RIGIDEZ DIELÉTRICA (RESISTÊNCIA ELÉTRICA).....	137
7.5.1 Discussão .....	138
7.6 COMPARAÇÃO IMPACTO AMBIENTAL - ANÁLISE DO SIMAPRO .....	139
7.7 COMPARAÇÃO DO PESO DO COMPÓSITO E DA CHAPA DE AÇO.....	142
7.7.1 Discussão .....	142
7.8 PROPOSTA DE ACABAMENTO DE AMOSTRAS DE COMPÓSITO .....	143
7.8.1 Discussão .....	144
7.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS .....	145
<b>8. PROPOSTA CONCEITUAL DE APLICAÇÃO DO COMPÓSITO EM ADEGA .....</b>	<b>146</b>
<b>9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>152</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>160</b>
<b>GLOSSÁRIO .....</b>	<b>169</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>222</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa tem como objetivo o estudo da aplicação de compósito madeira/plástico em gabinetes de eletrodomésticos do tipo “linha branca”, e o que isto contribui no design destes produtos. A pesquisa teve como base o estudo realizado em uma empresa de móveis para escritórios, a qual analisou, através do estudo do ciclo de vida, o impacto ambiental de alguns dos seus produtos (VERONEZE et. al., 2008).

Após a análise do ciclo de vida de uma estação de trabalho – fabricada em MDF pintado, peças metálicas, e acessórios plásticos –, foi avaliado o impacto ambiental desta, através do programa SimaPro. Tornou-se possível, desta forma, identificar as peças mais nocivas para o meio ambiente, comprovando-se que o maior impacto encontrava-se nas que continham excesso de pintura – principalmente pela presença de solventes – e nas fabricadas em aço SAE (Ibidem).

Esse impacto, apresentado nas chapas de aço, está relacionado, em grande parte, à extração do aço, que gera efeitos nocivos ao meio, ao degradar grandes áreas para a exploração dos minerais. Os processos de mineração e metalurgia também originam grandes quantidades de resíduos, os quais não são totalmente reaproveitados, podendo ser nocivos, ou não, para o meio ambiente (ECOINDICATOR, 1999).

Com base nesta pesquisa anterior, foram escolhidos, para este estudo, produtos que utilizam em sua estrutura chapas de aço, dos quais são exemplos os eletrodomésticos “linha branca”, sendo seus gabinetes (carcaças) constituídos, em sua maioria, por este material.

Aliado a estes fatores, e com objetivo de oferecer complementação da pesquisa do professor dr. Dalton Luiz Razera – Razera (2006) –, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação da Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, estudou-se a aplicação de compósito madeira/plástico nos produtos eletrodomésticos “linha branca”, e sua influência no design destes produtos.

É importante salientar, que foi realizado, nesta pesquisa, o estudo de um novo material a ser aplicado nos gabinetes dos eletrodomésticos “linha branca”, que apresentasse menor impacto ambiental, em comparação à chapa de aço, e que paralelamente permitisse um novo design para os produtos. Desta forma, não se objetivou resolver os impactos gerados pelo produto durante o uso destes, sendo o momento em que ocorrem os maiores impactos ambientais de um produto, devido ao consumo de energia, ou, de material (ECOINDICATOR, 1999).

A utilização deste compósito em gabinetes de eletrodomésticos, que até o momento são fabricados quase na totalidade em metal, tornou-se atraente também pelo fato de o compósito ser fabricado com uma média de 80% de farinha de madeira, a qual é obtida através de resíduos provenientes (gerados na produção) da madeira serrada e na manufatura de seus produtos (RAZERA, 2006).

A reutilização destes resíduos, gerados no setor madeireiro, já tem provocado interesse de pesquisadores e empresários. A fabricação de compósito madeira/plástico é aceita como uma das alternativas de uso destes resíduos, sendo uma forma de introduzi-los novamente na cadeia produtiva (YAMAJI, 2004).

A madeira de espécie *pinus* foi escolhida por ser uma das espécies mais utilizadas no manejo florestal, e de uso em diversos setores do mercado: construção civil, mobiliário, laminados, compensados, embalagens, *paletes*, artigo esportivos, brinquedos, bobinas, carretéis, além, da sua utilização visando à obtenção de fibras

e partículas de madeira para fabricação de papel e painéis (REVISTA DA MADEIRA - REMADE, 2008).

Desta forma, esta pesquisa tem por objetivo o estudo da aplicação do compósito, desenvolvido com partículas homogêneas de madeira e resina melamina-uréia-formaldeído (MUF), com média emissão de formol, inicialmente na “linha branca”.

## 1.1 PROBLEMA

Qual a possibilidade de desenvolvimento de gabinetes de eletrodomésticos “linha branca” com utilização de compósito madeira/plástico?

## 1.2 OBJETIVOS

- a. Estudar a viabilidade da aplicação de compósitos, à base de partículas de madeira, no design de gabinetes de produtos conhecidos como “linha branca”.
- b. Experimentar densidades diferentes do material e avaliar suas características térmicas, elétricas e de absorção de água, assim como a influência destas características no design do produto “linha branca”.
- c. Desenvolver um exercício projetual, a fim de exemplificar as possibilidades de utilização e do design do produto desenvolvido com o compósito.

### 1.3 HIPÓTESES

- a. O uso de compósitos madeira/plástico em gabinetes de eletrodomésticos é viável, influenciando no design dos produtos, em termos funcionais e estéticos.
- b. O uso de compósito oferece isolamento térmico, elétrico, e baixa absorção de água.
- c. O compósito permite fabricação de peças mais leves do que a chapa de aço, com formas curvas e em diversas cores.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento tecnológico possibilitou o aumento no poder de interferência do homem sobre o meio ambiente, com a industrialização e com a popularização de produtos e serviços, garantindo conforto e bem estar. Porém, esse sistema de produção ocasionou, e continua ocasionando, impactos ao meio ambiente, como a redução de recursos naturais e o aumento na geração de resíduos (RAMOS, 2001).

A atividade da mineração é um exemplo de efeito nocivo ao meio, pois degrada grandes áreas, ao explorar o metal. Além da exploração dos recursos naturais, consome grande quantidade de energia, e produz resíduos minerais. Em alguns casos, o reprocessamento é inviável, sendo feito o depósito de resíduos em aterros sanitários. Esses resíduos podem ser nocivos, ou não, ao meio ambiente, sendo contaminados por óleos, ou outras substâncias, durante as operações de extração de minério (ECOINDICATOR, 1999).

Esta grande quantidade de rejeitos faz com que as empresas mineradoras desenvolvam programas de gestão de resíduos das unidades operacionais, com o objetivo principal de reduzir a geração interna dos mesmos, assim como a sua disposição final em solo (VALE DO RIO DOCE, 2009).

As empresas que trabalham nesse setor possuem provisão para recuperação ambiental, investindo em despoluição de baías e em recuperação de áreas exploradas, através de reflorestamento. Entretanto essa reabilitação das áreas exploradas é realizada apenas através do plantio de árvores e vegetações (Ibidem).

Incentivando o aumento das extrações de minerais, os eletrodomésticos “linha branca” – que possuem gabinetes, quase na totalidade, fabricados em chapa de aço – apresentam crescentes níveis de venda, e consequente acréscimo na fabricação, desde a década de 1990 (CUNHA, 2003).

Um importante elemento que explica esse crescimento no consumo é o incremento do poder aquisitivo da população, principalmente nas classes menos favorecidas, o que está associado à melhoria salarial, ao aumento do nível de taxas de emprego, maior acesso ao crédito, e pagamentos por parcelamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA - ABINEE, 2010).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009) demonstra, através do gráfico 1, o crescimento que a indústria de eletrodomésticos tem apresentado entre os anos de 2002 e 2008. Os dados mostram que o ano de 2003 teve um pequeno aumento na produção, se comparado ao ano de 2002. Porém, o ano de 2004 apresentou grande alteração, superando em 20% a produção de 2002 e em 19% a produção do ano de 2003.



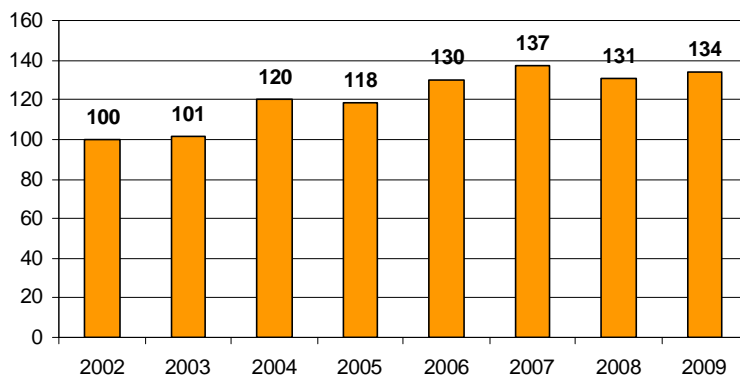


GRÁFICO 1 – PRODUÇÃO FÍSICA NO BRASIL (ANO BASE 2002 - %)<sup>1</sup>

FONTE: Elaborado a partir de dados coletados pelo IBGE (2009)

Também é possível verificar que o ano de 2005, comparado com o ano anterior, apresentou decréscimo de 2% na linha de fabricação. No ano seguinte ocorreu crescimento de 12% em relação ao ano de 2005. Em 2007, a indústria de eletrodomésticos atingiu recorde de produção, com percentual sete vezes superior em relação ao ano de 2006 e de 37% superior à produção do ano base 2002 (IBGE, 2009).

O ano de 2008 sofreu impactos da crise mundial, o que causou aumento dos preços das chapas de aço, do plástico e do cobre, e teve uma produção 6% inferior à alcançada no ano de 2007, se igualando aos índices do ano de 2006. O ano de 2009 demonstrou pequena recuperação, atingindo índice 3% superior ao ano de 2008; porém, não conseguiu se equiparar ao ano de 2007 (Ibidem).

O acréscimo das vendas, e da produção, dos eletrodomésticos “linha branca” nos anos 2006 e 2007 foram os maiores registrados desde meados dos anos 1990, no início do plano real. Neste intervalo de tempo, a “linha branca”

<sup>1</sup> Todas as figuras e tabelas sem indicação explícita da fonte foram produzidas pela autora da dissertação.

superou a linha marrom<sup>2</sup> em vendas de refrigeradores, de fogões, de lavadoras e de fornos de micro-ondas (CNM/CUT, 2008).

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos – ELETROS (2009), mais de dez anos depois muitos dos eletrodomésticos adquiridos naquela época esgotaram sua vida útil e precisavam ser substituídos, o que contribuiu para o crescimento da demanda.

Este acréscimo de consumo pode ser visualizado no gráfico 2, onde é possível perceber que em todo o território nacional – com exceção da população rural de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará e Amapá – a média de residências com eletrodomésticos “linha branca”, atingia, no ano de 2006, índices de 93,3%, no caso da geladeira (IBGE, 2006).

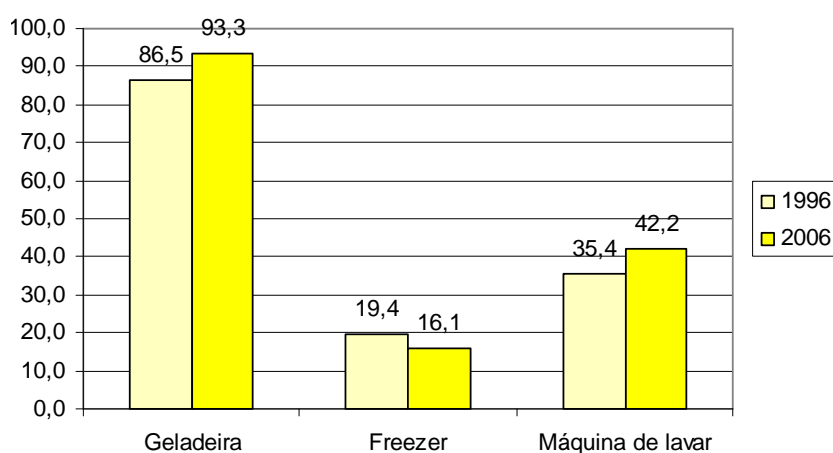


GRÁFICO 2 – PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS (% / 1000 DOMICÍLIOS)

FONTE: Elaborado a partir de dados coletados pelo IBGE (2006)

<sup>2</sup> Os eletrodomésticos da linha marrom contam com os seguintes produtos: televisores, vídeo cassetes, DVD Players, aparelhos de áudio (mini-systems, microsystems, CD Players, Walkmans), Home Theaters, Receivers, Computadores e seus periféricos, Câmeras Digitais e Analógicas, Câmeras de Vídeo, Projetores de imagens, Aparelhos de som automotivos (ELETROS, 2009).

No total, o mercado de “linha branca” movimenta cerca de 16 milhões de peças ao ano, com grande potencial de crescimento, segundo estimativas da ELETROS (2009).

As empresas do setor automotivo, da construção civil e de eletrodomésticos “linha branca” passam por um bom momento de vendas. Porém, estão consumindo maior quantidade de chapas de aço (IBGE, 2009). Esta é outra questão relacionada à utilização do aço, pois o aumento da demanda, e do custo da matéria prima, ocasiona a elevação do preço do aço pelas siderúrgicas no mercado interno, o qual acarretou um acréscimo de 20% entre os anos 2007-2009, com (quando houve) crescimento de 19% de vendas domésticas pelas empresas siderúrgicas, como CSN e Usiminas, por exemplo (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS METALURGICOS - CNM/CUT 2008).

Simultaneamente, a indústria de madeira, passa por uma substituição dos produtos de madeira sólida pelos de madeira reconstituída, oriundos de árvores de manejo florestal e também de resíduos de madeira processados em outras indústrias de processamento mecânico (RAZERA, 2006).

Os produtos de base florestal, e de base processada, têm trazido muitos benefícios para o Brasil, uma vez que o setor contribui para o Produto Interno Bruto (PIB) com aproximadamente 4,4% (somando a indústria de base florestal e a processada). Assim, representa, em média, 11% dos empregos gerados no país, entre diretos e indiretos. Além dessa contribuição no aumento da arrecadação tributária, os produtos de base florestal têm colaborado significativamente nos índices de exportação e no *superávit* nacional, conforme é possível verificar na tabela 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2008).

TABELA 1 – INDICADORES SÓCIO-ECONÔMICOS DA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL E DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (2007)

<i>Indicador</i>	<i>Indústria de Base Florestal</i>	<i>Processada</i>
PIB	US\$ 44,6 bilhões (3,4% do PIB nacional)	US\$ 13,1 bilhões (1,0% do PIB nacional)
PEA (empregos)	8,6 milhões (9,0% da PEA nacional)	2,0 milhões (2,1% da PEA Nacional)
Capacidade de Geração de Empregos (a cada R\$ 10 milhões investidos)	352 empregos diretos; 374 indiretos e; 565 efeito-renda, Total = 1.291	293 empregos diretos; renda. Total = 806
Consumo de Energia Elétrica	12.303 GW.h (3,5% da energia elétrica consumida pelo país)	3.281 GW.h energia elétrica consumida
Arrecadação Tributária	US\$ 7,2 bilhões (1,5% do total da arrecadação nacional)	US\$ 2,3 bilhões arrecadação nacional)
Exportação	US\$ 8,8 bilhões (5,5% do total da exportação)	US\$ 3,66 bilhões exportação)
Superávit	US\$ 7,4 bilhões (18,5% do superávit nacional)	US\$ 3,65 bilhões nacional)
Investimentos Esperados	US\$ 19,6 bilhões (perspectiva até 2015)	US\$ 5 bilhões (perspectiva até 2014)

FONTE: ABRAF (2008)

O Brasil também possui uma considerável produção de resíduos de madeira, inclusive para exportação, como está representado na tabela 2. Aliás, está ocorrendo um acréscimo na exportação destes resíduos nos últimos anos, pois, ao comparar o ano de 2006 com o ano de 2007, é possível concluir que o item cavaco, serragem e resíduos – obteve um acréscimo de 5,78%, e o item lãs e resíduos de madeira – tiveram sua exportação iniciada no ano de 2007 (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR - MDIC, 2007).

Uma das possíveis formas de utilizar estes crescentes resíduos, de diminuir o desperdício e de valorizar a matéria-prima, é a reutilização destes em forma de compósito madeira/plástico (YAMAJI, 2004).

TABELA 2 – EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS DE MADEIRA

Itens	2006	2007	Variação 2006 a 2007 (%)
<b>Cavaco / Serragem / Resíduos</b>	<b>110.362.881</b>	<b>116.739.530</b>	<b>5,78</b>
Carvão Vegetal	3.055.327	3.573.644	16,96
Madeira em Bruto	785.978	4.354.322	454
Arcos, estacas, etc.	4.709.127	5.202.962	10,49
<b>Lã e resíduos de madeira</b>		<b>42</b>	<b>0</b>
Dormentes, postes	516.590	2.436.970	371,74
Madeira serrada / cortada	845.723.358	926.767.616	9,58
Folhas de madeira	69.559.409	88.308.830	26,95
Madeira Perfilada	605.549.871	640.689.343	5,8
Painéis de madeira	49.379.990	47.626.588	-3,55
Painéis de fibra	125.201.559	123.859.520	-1,07
Madeira compensada	650.467.045	697.138.239	7,18
Madeira em blocos, pranchas	5.396.899	12.247.997	126,95
Molduras de madeira	34.387.129	13.096.310	-61,92
Caixotes, caixas, <i>pallets</i>	30.759.808	38.737.980	25,94
Barris, cubos, dornas	67.306	183.100	172,04
Armações, cubas, formas, ferramentas	48.555.228	42.502.698	-12,47
Janelas, portas, armações	513.346.503	522.872.874	1,86
Artefatos de madeira para mesa	1.548.674	1.678.774	8,4
Estatuetas, objetos, artigos	2.125.262	2.036.510	-4,18
Cabides, obras em madeira, outras obras	57.806.100	48.907.223	-15,36
Total	3.159.304.044	3.338.961.072	5,69

FONTE: Adaptada do MDIC (2007) / Remade (2008)

Além do aspecto técnico e econômico, o uso dos resíduos na produção de compósito madeira/plástico tem um reflexo importante no aspecto ambiental, pois a incorporação dos resíduos da madeira na produção significa uma substituição no uso de novos materiais, sejam plásticos ou metais, por material renovável (Ibidem).

Segundo a Revista Plástico (2006), as vendas de materiais compósitos apresentam um enorme potencial de crescimento. Isto se deve às características deste produto, que possui propriedades que os tornam vantajosos quando comparadas a outras matérias-primas, como o aço, madeira e alumínio, por exemplo.

A primeira edição do Seminário Internacional de Compósitos, organizado pela Associação Brasileira de Materiais Plásticos Compósitos (ABMACO), no estado

de São Paulo, apresentou dados relativos ao consumo e crescimento dos compósitos no Brasil. Em 2006, o segmento de compósitos movimentou R\$ 1,6 bilhão, representando um crescimento em torno de 5,5% em relação ao ano de 2005. No total foram produzidas aproximadamente 120 mil toneladas, das quais 95 mil foram de resinas e 25 mil de reforços, gerando 100 mil empregos diretos e 260 mil indiretos (ABMACO, 2008).

Em todo o mundo, o consumo de materiais compósitos é avaliado em 3,6 milhões de toneladas, com previsão de crescimento, no consumo médio anual, de 5% a 6%. O consumo *per capita* nacional em 2006 foi de aproximadamente 0,68 kg/ habitante/ ano, sendo menor que a metade do consumo médio mundial, que está em 1,7 kg/ habitante/ ano. Nos Estados Unidos, país de maior consumo, o índice foi de 12,3 kg/ habitante/ ano; na Europa, de 6,5 kg/ habitante/ ano e no Japão, de 6,3 kg/ habitante/ ano (REVISTA PLÁSTICO, 2006).

Em relação à madeira utilizada na fabricação do compósito, algumas vantagens podem ser destacadas:

- a. Possibilidade de formas diferenciadas em processos produtivos que não são possíveis com outros tipos de materiais;
- b. Redução do impacto ambiental, ao contribuir com a redução do crescimento do lixo urbano, ao transformar o que seria lixo em matéria-prima novamente.

As chapas de aço também apresentam características positivas, pois, além de oferecerem acabamentos variados, possuem durabilidade, praticidade e comodidade (CSN, 2009). Representa, desta forma, uma boa oportunidade de material para as empresas de eletrodomésticos, pois, por ser uma matéria-prima

padrão, permite comodidade na aquisição, com preço compatível. Porém, não é descartada a possibilidade de uso de um novo material na linha de produção (ver apêndice A).

A utilização de compósito, assim como qualquer outro material, possui algumas desvantagens em seu uso, pois devem ser observados problemas com relação à resina utilizada na fabricação do compósito, por ser a resina (plástico) originada do petróleo, e à utilização de resinas à base de uréia-formaldeído, devido as grandes emissões de formaldeído livre (ECOINDICATOR, 1999).

Outros aspectos negativos, no compósito, é a biodegradabilidade e da facilidade de combustão, devido ao uso de madeira (RAZERA, 2006). Por este motivo, o plástico é utilizado como responsável pela melhoria das características de resistência à umidade e ao ataque de insetos e fungos (SCHUT, 1999).

De acordo com o crescimento dos resíduos de madeira nas indústrias brasileiras, dos novos estudos para aproveitamento destes resíduos em compósitos de madeira/plástico e das altas produções e expectativas da indústria de “linha branca”, sugere-se, nesta pesquisa, a aplicação de compósito nos gabinetes dos eletrodomésticos, como material alternativo ao uso da chapa de aço no gabinete externo.

A indústria de “linha branca” guarda aspectos interessantes para estudos com novos materiais, pois se trata de um segmento intensivo em mão-de-obra, o qual é bastante influenciado pela emergência da globalização, além de ter incorporado processos de novas tecnologias, sobretudo na última década (PERTICARRARI, 2003).

## 1.5 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A presente pesquisa faz referência aos compósitos madeira/plástico, com maior porcentagem de madeira, sendo estudada a viabilidade de sua aplicação em gabinetes de eletrodomésticos “linha branca”.

## 1.6 VISÃO GERAL DO MÉTODO DE PESQUISA

Será utilizado o método de experimento, por estar sendo testado um material novo – compósitos madeira/plástico – em produtos que, até o momento, são fabricados apenas em chapa de aço.

Segundo Yin (2001) são realizados experimentos quando o pesquisador pode manipular o comportamento direto, preciso e sistemático, o que pode acontecer em um laboratório de pesquisa, que será exemplo deste projeto.

Nos experimentos também estão inclusas situações em que o pesquisador precisa ter controle sobre os eventos comportamentais, além de ter um foco nos acontecimentos contemporâneos, com perguntas frequentes - para quem utiliza esse tipo de método - semelhante a “como” e “por quê” (Ibidem).

## 1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da Dissertação será dividida em nove capítulos:

O primeiro capítulo será composto pela introdução, justificativa, problema, objetivos, hipóteses e uma visão geral do método de pesquisa a ser utilizado.

O conteúdo do capítulo 2 apresenta: compósitos madeira/plástico – a madeira e os aglutinantes utilizados nesta pesquisa, assim como os processos de



fabricação tradicionais, com foco na moldagem por compressão a quente. Também são apresentados os diferentes produtos já desenvolvidos em compósito, com a utilização de processos de fabricação distintos.

A “linha branca” de eletrodomésticos – histórico, produtos e a chapa de aço pré-pintada –, é examinada no capítulo 3.

O capítulo 4 contempla as propriedades mecânicas do compósito madeira/plástico; assim como as propriedades térmicas e elétricas dos materiais.

O ciclo de vida dos produtos, sendo constituído pela identificação das fases e das técnicas necessárias para a avaliação de um ciclo de vida, e por diferentes tipos de tintas e acabamentos, constitui o capítulo 5.

Compondo o capítulo 6 estão os materiais e métodos aplicados nesta pesquisa. Serão apresentados: os critérios aplicados para a fabricação das chapas, com a utilização de farinha de madeira e plástico; ensaios de absorção de água e inchamento; ensaios térmicos; ensaios de rigidez dielétrica (resistência elétrica); comparação do impacto ambiental do compósito e da chapa de aço através do *software Simapro*, para análise do ciclo de vida; comparação de peso entre a chapa de aço e o compósito; e proposta de acabamento para gabinetes fabricados com compósito madeira/plástico.

Os resultados alcançados, através dos ensaios, no decorrer da pesquisa, são discutidos no capítulo 7.

O capítulo 8 apresenta uma proposta conceitual de aplicação de compósito no design de um produto “linha branca”.

A conclusão, os objetivos alcançados, e as recomendações sobre alterações necessárias para novos estudos, são apresentados no capítulo 9.

## 2. COMPÓSITOS MADEIRA/PLÁSTICO

### 2.1 DEFINIÇÃO

Compósitos são materiais de moldagem estrutural, formados por uma fase contínua polimérica (matriz) reforçada por uma fase descontínua (fibras) que se agregam físico-quimicamente após um processo de *crosslinking* polimérico (cura), sendo os aspectos leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência e adaptabilidade algumas das propriedades que garantem aos compósitos o título de produto do futuro (ABMACO, 2008).

Para Koenig e Sypkens (2002) compósito madeira/polímero (madeira/plástico) é uma mistura de madeira com a resina plástica. Enfim, compósito madeira/plástico refere-se a qualquer compósito que contenha madeira (em qualquer forma), e uma resina termofixa (termorrígida) ou termoplástica, sendo as termoplásticas a forma mais freqüente encontrada nos compósitos madeira/plástico (YAMAJI, 2004).

### 2.2 HISTÓRICO

Os compósitos madeira/plástico começaram a ser desenvolvidos na Alemanha após a 2ª Guerra Mundial. Na década de 1960, ocorreu a grande expansão desta indústria nos Estados Unidos da América, seguindo para os demais países do mundo. Porém, a grande produção de compósito se deu a partir da década de 1990, com as chapas aglomeradas, e os principais países envolvidos neste progresso são os Estados Unidos, com 25% da produção mundial, seguido pela Alemanha e Canadá, com 12% (REMADE, 2005).

As primeiras pesquisas com compósito madeira/plástico datam da segunda metade do século XX. Na década de 1950, as indústrias automotivas começaram a adicionar o pó de madeira ao polipropileno na fabricação de algumas partes internas dos carros. No final da década de 80, o compósito já começou a ser utilizado para fabricação de *decks* (KOENIG; SYPKENS, 2002).

Entre as causas que impediram o desenvolvimento rápido dos compósitos madeira/plástico se destacam tanto a distância existente entre a indústria madeireira e o setor de plásticos, quanto o fato de os fabricantes de plástico tentarem usar a madeira como carga (resistência), por falta de conhecimento sobre madeira, o que causou o fracasso das tentativas do compósito madeira/plástico (CLEMONS, 2002).

Entretanto, nos últimos tempos, as fibras lignocelulósicas se tornaram em alternativa econômica e ecológica como reforços em compósitos com plásticos, podendo ser citadas como vantagens a baixa abrasividade aos moldes e equipamentos, o baixo custo e a boa aparência do material (YAMAJI, 2004).

O uso dos compósitos madeira/plástico apresenta crescimento acelerado, devendo-se isto às vantagens deste produto em relação à madeira, pelo fato dos compósitos não racharem com facilidade, não empenarem, exigirem pouca ou nenhuma manutenção e serem facilmente moldados em formas complexas (BRANDT; FRIDLEY, 2003).

No Brasil, segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2008), as chapas de partículas foram introduzidas no mercado consumidor na segunda metade da década de 1960, pela indústria de Placas do Paraná. A produção de chapas de madeira aglomerada no Brasil atingiu, no ano de 2005, 7,7 milhões de m<sup>3</sup>, um aumento de 9,5% ao ano desde 1995.

No ano de 2000 o Brasil já ocupava a 9ª posição como maior produtor mundial de aglomerado, sendo que as principais empresas fabricantes de aglomerado em solo brasileiro produziram aproximadamente 1,5 milhão de metros cúbicos, o que corresponde a cerca de 2% da produção mundial, marca que eleva o Brasil a maior produtor mundial (REMADE, 2005).

Existe, ainda, uma perspectiva de aumento do uso do compósito madeira/plástico, pois, dependendo da formulação, podem-se obter produtos com propriedades superiores ao plástico e à própria madeira (KOENIG; SYPKENS, 2002).

## 2.3 MADEIRA

### 2.3.1 Resíduos de Madeira

Embora a destinação final dos plásticos represente uma das grandes preocupações da sociedade atual, outras atividades, como a madeireira, por exemplo, também vêm afetando o equilíbrio do meio ambiente devido ao grande volume de resíduos gerados, que devem ser transformados em novos produtos através de processos de reciclagem práticos e econômicos (YAMAJI, 2004).

Todo processo de trabalhar com madeira produz resíduos, que podem ter a forma de estilhas, flocos, lascas, aparas longas, partículas, fibras e farinha de madeira, conforme a figura 1 (GIUSTINA, 2001).



FIGURA 1 – TIPOS DE RESÍDUOS DE MADEIRA

De acordo com Marra (1992), quando as toras de madeiras são convertidas em elementos menores – através da redução do comprimento, largura e espessura – a natureza do processo industrial empregado e as características do produto final serão diferenciadas da seguinte forma, figura 2:

- a. Maior facilidade de obtenção de formas sinuosas;
- b. Decréscimo da relação resistência/peso;
- c. Aumento da homogeneidade e isotropia;
- d. Decréscimo de requisitos quanto à qualidade da matéria-prima;
- e. Maior influxo de capital.



FIGURA 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS DE MADEIRA

FONTE: Marra (1992)

Os resíduos de madeira, como as partículas, são considerados como elementos de grã curta, ou seja, com pequena largura e espessura, possuindo também um baixo peso, homogeneidade e um decréscimo na resistência (MARRA, 1992).

### 2.3.2 Características e Propriedades dos Resíduos de Madeira

Para entender como as características da madeira – espécie, tamanho das partículas, teor de umidade, entre outras – influenciam na qualidade dos compósitos, é necessário investigar o efeito da interação madeira/plástico com os agentes compatibilizantes e os processos de fabricação nas propriedades mecânicas destes compósitos. Uma das características dos produtos à base de compósito madeira/plástico está no fato de que estes podem ser trabalhados nas mesmas máquinas usadas para trabalhar o plástico (YAMAJI, 2004).

Os produtos compostos à base de madeira possuem características e propriedades diferenciadas em função do comprimento, largura e espessura dos elementos de madeira (MARRA, 1992).

A resistência do painel de madeira (como aglomerado, MDF, OSB, entre outros) está diretamente relacionada com o tamanho destes elementos e quantidade de adesivo aplicado (YOUNGQUIST, 1999). As partículas mais finas, deste modo, aumentam a rigidez com diminuição do peso, mas perdem na resistência ao impacto, se comparadas com as fibras longas (MARRA, 1992).

Além da uniformidade e do tamanho das partículas, a espécie de madeira utilizada na obtenção do pó também tem muita influência no processo e no produto final, pois a madeira tem a função de aumentar a rigidez dos compósitos, de melhorar as propriedades de usinabilidade, além de ter um custo menor que a resina (SCHUT, 1999).

A madeira apresenta, ainda, resistência natural aos raios UV, além de ser menos abrasiva no processo de extrusão do que as fibras de vidro. O aspecto negativo, entretanto, é o aumento de risco de incêndio ao trabalhar-se com o pó de madeira (Ibidem).

Torna-se também fundamental ressaltar que as características estruturais e químicas, combinadas com outras, como tamanho e forma das partículas, conteúdo de umidade, entre outras, são importantes para o entendimento do comportamento que esses materiais apresentarão, quando utilizados em compósitos poliméricos (Ibidem).

## 2.4 AGLUTINANTES

### 2.4.1 Definição

Nos compósitos madeira/plástico, o plástico é responsável pela melhora das características de resistência à umidade e ao ataque de insetos e fungos. Entretanto, numa temperatura onde muitos plásticos são processados a madeira irá entrar em combustão (SCHUT, 1999). Por este motivo, as formulações dos compósitos madeira/plástico ficam restritas a determinados tipos de plásticos, onde a temperatura de processamento é relativamente baixa como é o caso do polietileno (PE) e polipropileno (PP) para processos de injeção e extrusão (Ibidem).

Também, é possível a utilização de resinas do tipo uréia-formaldeído (UF), ou melamina-formaldeído (MF), que são utilizadas no processo de moldagem por compressão (VICK, 1999).

A resina UF e a resina MF, são apresentadas a seguir (Ibidem):

- a. Uréia-formaldeído (UF): sua composição é baseada na uréia e formaldeído. A uréia é produzida pela reação de dióxido de carbono e amônia. O formaldeído é obtido pela oxidação do metanol preparado a partir de monóxido de carbono e hidrogênio, ou de petróleo. Mais de 90% das indústrias de painéis de madeira utiliza resina UF, tendo em vista o seu baixo custo. Sua desvantagem consiste na susceptibilidade à degradação hidrolítica, na presença de umidade e/ou ácidos, especialmente em temperaturas moderadas e elevadas e, também, na emissão de formaldeído para a atmosfera;



- b. Melamina-formaldeído (MF): apresenta coloração branca leitosa, e com as vantagens de ter maior resistência à umidade em relação à resina UF. No processo de fabricação do pré-condensado de melamina-formaldeído (MF), o pH situa-se em torno de 9, com a finalidade de não acelerar demasiadamente a reação de condensação. Porém, a cura final ocorre no meio ácido, com a utilização dos mesmos catalisadores da uréia-formaldeído. A temperatura de cura situa-se entre 65 e 130°C, sendo que na temperatura de 130°C não é necessário o uso de catalisador.

#### 2.4.2 Termoplástico e Termorrígido (Termofixo)

Os plásticos podem ser divididos em termoplásticos e termorrígidos (termofixos):

- a. Termoplásticos: é facilmente remodelável quando aquecido (CANTO, 2004). Sua principal característica está na possibilidade de ser fundido diversas vezes, o que torna possível a sua reciclagem. Suas propriedades mecânicas variam conforme o tipo de plástico podendo, em temperatura ambiente, ser maleável, rígido ou frágil (GORNÍ, 2010);
- b. Termorrígidos (Termofixos): tem como característica principal a rigidez, sendo maleáveis apenas no momento da fabricação do objeto e devem, portanto, ser moldados nesse momento (CANTO, 2004). Após moldados, não mais se fundem, o que compromete sua reciclagem (GORNÍ, 2010).

### 2.4.3 Aditivos

A madeira e o plástico – ou resina – não são os únicos componentes dos compósitos madeira/plástico, pois esses compósitos podem conter materiais aditivos, que são adicionados em pequenas quantidades, para melhorar o processamento ou o desempenho do compósito (MAPLESTON, 2001).

Schut (1999), afirma que o plástico e a madeira não se interagem facilmente. Por esta razão, nos processos patenteados de *Wood-Plastic Composite* (WPC), geralmente são acrescentados algum tipo de aditivo, o qual tem a função de aumentar a compatibilidade entre as fibras de madeira e os polímeros, melhorando, desta forma, as propriedades mecânicas dos compósitos (LU et al, 2002).

São vários os aditivos utilizados nos compósitos madeira/plástico, como: agentes compatibilizantes, dispersantes, lubrificantes, estabilizadores (luz e calor), pigmentos e produtos químicos – como inseticidas e fungicidas –, que são produtos incorporados às partículas de madeira durante o processo de aplicação do adesivo, com a finalidade de melhorar algumas propriedades específicas dos painéis (IWAKIRI, 2005).

Entre esses aditivos os mais comuns são:

- a. Catalisadores: produtos como cloreto de amônia e sulfato de amônia, adicionados à resina uréia-formaldeído com a função de reativar a pré-condensação e aumentar a velocidade de polimerização e cura da resina (IWAKIRI, 2005);
- b. Emulsão de parafina: aplicado na proporção de até 1% baseado no peso do sólido resinoso, com a finalidade de reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis (IWAKIRI, 2005);

- c. Retardantes de fogo: componentes químicos como fosfato de amônia, ácido bórico e sulfato de amônia, incorporados ao material durante o processo de produção, ou através da impregnação em painéis, após a prensagem (IWAKIRI, 2005);
- d. Produtos preservantes contra fungos e insetos: compostos químicos incorporados ao material durante o processo de produção, em proporção oscilando entre 0,25% a 2,5%, com base de peso seco das partículas (IWAKIRI, 2005).

## 2.5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Para produção de compósito madeira/plástico são utilizados três processos de fabricação:

1. Extrusão;
2. Injeção;
3. Compressão.

### 2.5.1 Extrusão e Injeção

Nos processos de extrusão e injeção os equipamentos e as técnicas são as mesmas empregadas na indústria de plásticos, sendo utilizados, no lugar de plástico, resíduos de madeira, na forma de pó ou farinha industrializados, misturados com adesivos termoplásticos (DARDENE, 2003).

Ainda, segundo Dardene (2003), o ciclo do processo de extrusão se compõe basicamente de cinco fases distintas, figura 3:

1. Entrada da matéria-prima;
2. Secagem das fibras de madeira;
3. Fusão do polímero;
4. Homogeneização da mistura de fibras de madeira e polímero;
5. Bombeamento da mistura através do cabeçote (saída).

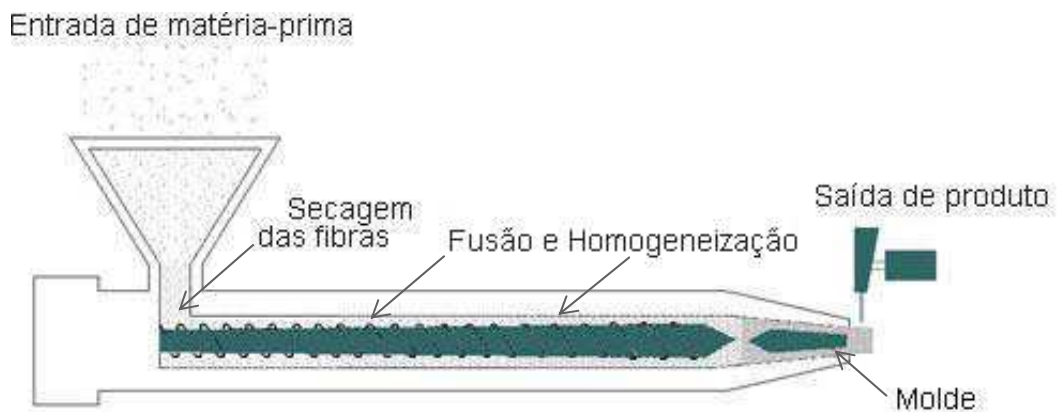


FIGURA 3 – ESQUEMA PROCESSO DE EXTRUSÃO

A temperatura do material extrudado, no final do processo, varia aproximadamente de 170°C a 185°C, sendo que temperaturas superiores a 200°C devem ser evitadas para reduzir a degradação das fibras de madeira. Este processo de produção pode conter até 80% de pó ou farinha de madeira industrializada, e não se deve permitir que a temperatura ultrapasse os 200°, para evitar a queima das fibras da madeira (DARDENE, 2003).

O processo de injeção apresenta 4 fases, sendo facilitado através do pistão que conduz o produto em direção ao molde, figura 4 (CANTO, 2004).

1. Entrada do produto em forma de grãos;
2. Aquecimento;
3. Fusão e homogeneização do produto;
4. Injeção (saída) em moldes apropriados.

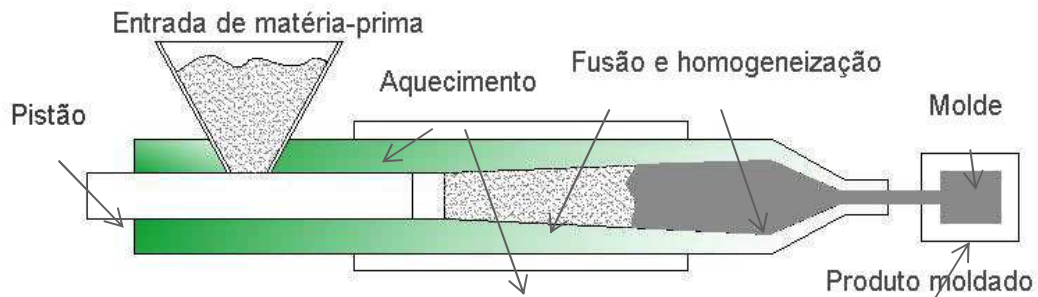


FIGURA 4 – ESQUEMA PROCESSO DE INJEÇÃO

Na injeção de produtos com o material moldado, com mistura “madeira/plástico”, geralmente obtida a partir da extrusão, pode haver até 80% de pó ou farinha de madeira industrializada, conforme a figura 4 (DARDENE, 2003).

### 2.5.2 Compressão

Os componentes para a fabricação de produtos moldados de madeira são partículas de madeira e resina, com processo de produção similar ao empregado na fabricação do aglomerado, no qual a madeira é reduzida a pequenas partículas, de acordo com o tamanho e as especificações do produto, sendo retirada sua umidade e adicionada a ela resina no teor desejado (RAZERA, 2006).

Após a formação do chamado “colchão” (madeira + resina), este é depositado no molde para a fase de consolidação da moldagem. O processo de prensagem consiste de pré-compressão a frio seguida por compressão a quente, com tempo de prensagem suficiente para que o vapor gerado durante o processo seja liberado pelas bordas do molde (Ibidem).

Durante o processo de formação do colchão, é possível a adição de catalisador, agente repelente à água, fungicidas, inseticidas, produtos retardantes de fogo, e pigmentos coloridos, dependendo das características desejadas para o compósito (GARDNER, 2002).

As principais vantagens dos produtos moldados, segundo Gardner (2002), são: ciclo de prensagem de pequeno tempo, grande volume de produção, e boa qualidade de superfície. E as principais desvantagens são: o alto capital inicial de investimento, trabalho intensivo, e necessidade de operações secundárias.

As possibilidades de produtos moldados se ampliam. Porém, são necessários alguns cuidados no planejamento das operações para se obter sucesso na fabricação desses produtos, tais como custo baixo para o produto moldado e uma quantidade suficiente de volume de produção para ser capaz de amortizar o custo de equipamentos e moldes (GUEDES; FILKANSKAS, 1986).

Apesar dos estudos envolvendo o método de prensagem, de acordo com Specialchem (2003), no mercado de compósitos madeira/plástico é, predominantemente, utilizado o processo de extrusão, seguido pelo processo de injeção, que está aumentando sua participação no mercado.

#### 2.5.2.1 Processos de moldagem por compressão

O processo de moldagem é dividido em duas fases (MOSLEMI, 1974):

1. Pré-compressão do material para geração de peças com superfícies de baixa profundidade;
2. Compressão, capaz de gerar impressão profunda com formas destacadas, que consolida o produto.

O processo de moldagem por compressão de produtos moldados de madeira é realizado de acordo com o esquema básico apresentado na figura 5, no qual o molde metálico define a forma do produto por compressão e aquecimento (RAZERA, 2006).

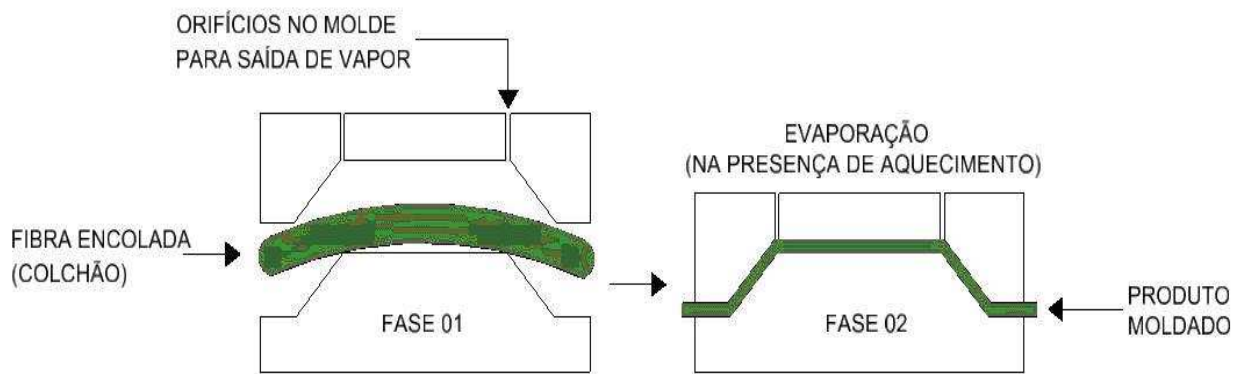


FIGURA 5 – ESQUEMA DO PROCESSO DE MOLDAGEM A QUENTE

FONTE: Adaptado de Razera (2006)

Os moldes são, usualmente, fabricados em aço ou alumínio, sendo constituídos pela combinação de duas partes: macho e fêmea (GUEDES; FILKANSKAS, 1986).

Os fatores mais importantes para o desenvolvimento de produtos moldados por compressão são os fatores relacionados à geometria do molde, como espessura da parede, direção da pressão no molde e prensagem unidirecional, ou multidirecional, na moldagem (GARDNER, 2002).

Um aspecto importante no projeto dos moldes para moldagem de peças produzidas com partículas de madeira são as aberturas para liberação do vapor durante a prensagem. Essas perfurações devem estar localizadas em pontos estratégicos a fim de evitar a concentração de vapor e umidade, o que resulta em delaminação das camadas internas do produto (MOSLEMI, 1974).

Os fatores inerentes ao processo de produção são: o aquecimento do molde, velocidade de fechamento da prensa, pressão específica ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ), tempo de aquecimento, tempo de cura e tempo de desmoldagem (GARDNER, 2002).

## 2.6 DESIGN E A APLICAÇÃO DE COMPÓSITOS MADEIRA/PLÁSTICO

Os compósitos madeira/plástico já estão sendo utilizados na fabricação de uma série de produtos, e uma das razões é a sua baixa absorção de água, o que torna o produto ideal para aplicações exteriores e para produtos que ficarão expostos à umidade. O material não apresenta os problemas comuns à madeira, quando submetidas a condições de muita umidade, como rachaduras, empenamentos e apodrecimento (KOENIG; SYPKENS, 2002).

### 2.6.1 Produtos Desenvolvidos Através de Extrusão e Injeção

O *Wood-Plastic Composite* (WPC) está sendo utilizado na fabricação de produtos como quiosques, mesas, cadeiras, floreiras, brinquedos de *playground* e pontes para atender projetos de jardinagem, de piscina e de áreas de recreação (KOENIG; SYPKENS, 2002).

As principais aplicações dos compósitos madeira/plástico são em produtos para construção como *decks*, cercas, acabamento para paredes e peças decorativas (portas e janelas). Outras aplicações incluem pisos para uso externo, construções marinhas, interior de automóveis e caminhões, *paletes* e equipamentos para *playground* entre outros (SPECIALCHEM, 2003).

Analisando o comércio de pisos, a empresa portuguesa Banema produz *decks* em compósitos madeira/plástico, garantindo que, ao contrário da madeira maciça, este material é muito mais estável e resistente (figura 6). O caráter natural da madeira não se perde, e os perfis têm canaletas finas em uma face e canaletas grossas na outra, o que permite a colocação de ambos os lados, com interessantes opções de desenho. As principais características do produto são a sua elevada



resistência à umidade, à água salgada e ao cloro; grande durabilidade; e resistência contra insetos e fungos. É um produto indicado para espaços públicos, além de ser antiderrapante e não formar farpas (BANEMA, 2009).



FIGURA 6 – PISOS FABRICADOS EM COMPÓSITO

FONTE: Banema (2009)

Além do piso, os compósitos madeira/plástico estão tendo outras aplicações dentro das casas, pois o material está sendo utilizado na fabricação de peças de móveis, de decoração e em molduras (KOENIG e SYPKENS, 2002).

De acordo com Kaczmarek e Wortberg (2004), a empresa EIN Engineering, do Japão, mostrou também que é possível a construção de paredes com função de proteção acústica. Em ambientes internos, os perfis de compósito madeira/plástico são encontrados nas molduras das portas, em portas inteiras, em canaletas, em conduítes para cabos, em *decks* e em cercas para varandas (figura 7 e figura 8).



FIGURA 7 – EXEMPLO DE CERCAS

FONTE: Ein (2001)



FIGURA 8 – EXEMPLO DE DECKS

FONTE: Ein (2001)

Outros produtos como tubos, vasos, réguas escolares e perfis também são possíveis de se fabricar com compósitos madeira/plástico (figura 9).



a) TUBOS EXTRUDADOS



b) VASOS PARA ORQUÍDEAS



c) RÉGUAS



d) PERFIS EXTRUDADOS

FIGURA 9 – EXEMPLO DE PRODUTOS EM COMPÓSITO MADEIRA/PLÁSTICO

FONTE: Yamaji (2004)

A Artegor, Laminados Especiais Ltda., sediada em Tatuí (SP), partindo da tecnologia *Wood-Stock*, que foi desenvolvida inicialmente na Itália pela empresa GOR, desenvolve o composto que é uma mistura de polipropileno, farinha de madeira (aparas de madeiras descartadas pelas madeireiras de reflorestamento), e outros aditivos, que são dosados em função de sua aplicação final, sendo totalmente reciclável (figura 10) (ARTEGOR, 2009).

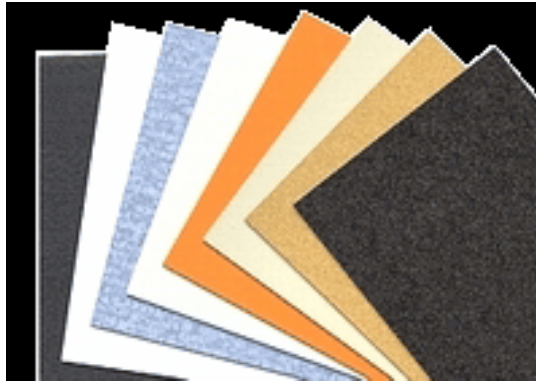


FIGURA 10 – WOOD-STOCK

FONTE: Artegor (2009)

O produto oferece diversas vantagens, tais como: a simplicidade de processo e baixo custo final; uma grande flexibilidade de aplicações; facilidade de moldagem; estabilidade dimensional; resistência a impactos; resistência à umidade; e poder receber revestimentos de tecidos, de PVC, de couro e de outros materiais (Ibidem).

Segundo a Artegor (2009), o *Wood-Stock* é utilizado em veículos de quase todas montadoras instaladas no Brasil, como Fiat, GM, Volkswagen, Peugeot, Citroën, Toyota, Honda e Mitsubishi. A Artegor fabrica parte dos painéis laterais, porta-pacotes, medalhão dianteiro, medalhão traseiro, e outras peças dos carros.

Também é possível encontrar o *Wood-Stock* sem revestimento (figura 11), que consiste na produção de placas coloridas as quais serão moldadas em ferramentas texturizadas, permitindo assim a exclusão do revestimento (tecido, PVC, entre outros). Para manter o acabamento emborrachado de um revestimento de lateral de porta, esse conceito de processo permite a produção de placas de *Wood-Stock* revestidas com filme de TPO, as quais serão texturizadas no molde, mantendo as características de reciclabilidade (Ibidem).

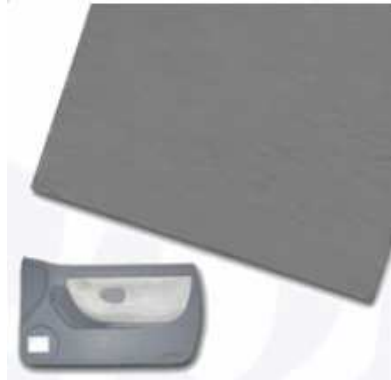


FIGURA 11 – WOOD-STOCK SEM REVESTIMENTO

FONTE: Artegor (2009)

A empresa também possui outros produtos como é o caso do *Gornaf*, que é uma família de compostos de poliolefinas e de fibras longas naturais, os quais são extrudados, termoformados e reciclados, permitindo uma considerável redução de peso e um significativo aumento nas características mecânicas, figura 12 (ARTEGOR, 2009).



FIGURA 12 – MATERIAL GORNAF

FONTE: Artegor (2009)

Um outro material, também fornecido pela empresa, é o *Plast-Wood* que reúne a beleza da madeira com a durabilidade do plástico, com redução de custos, otimização de processos e qualidades como: maior estabilidade dimensional que a madeira, rigidez, baixos níveis de absorção de água, menor custo do que o plástico, resistência térmica, resistência a intempéries, a insetos, à radiação UV e 100% de reciclabilidade, figura 13 (Ibidem).



FIGURA 13 – *PLAST-WOOD*  
FONTE: Artegor (2009)

Uma outra indústria, Polyblu, localizada na cidade de Blumenau - SC, é uma das pioneiras empresas no Brasil a fabricar o compósito Madeira/Plástico denominado compostos *Wood* (POLYBLU, 2009).

Esses são compostos de polímeros formulados a partir de minerais com resinas e fibras vegetais que, unidos, proporcionam um toque amadeirado ao seu produto final, podendo aproximar-se dentre as mais diversas texturas de madeiras existentes na natureza além de seu excelente acabamento, altíssima resistência mecânica e a intempéries, características estas que são muito superiores quando comparadas à madeira natural (Ibidem).

É possível serem utilizados na confecção de objetos injetados ou até mesmo na extrusão de perfis para construção civil, como forros, rodapés, esquadrias de janelas, *decks* de piscina, entre outros (Ibidem).

A empresa Polyblu disponibiliza um esquema de fabricação dos compósitos, processo no qual as partículas de madeira, que são originadas das toras de madeira, dão origem aos grãos de compósitos ao serem misturadas com as



resinas, que podem se transformar em variados tipos de produtos (figura 14). (Ibidem).



FIGURA 14 – ESQUEMA DE FABRICAÇÃO DO COMPÓSITO

FONTE: Polyblu (2009)

### 2.6.2 Produtos Desenvolvidos Através de Compressão

No Brasil, também existem produtos desenvolvidos em pesquisa utilizando o método de compressão, uma das referências é o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Florestais Renováveis (IBAMA), o qual tem realizado pesquisas e produtos sobre o compósito madeira/plástico utilizando o aproveitamento de serragem e sobras de madeira com a adição de plástico como aglutinante. O IBAMA realizou a mistura de resíduos descartáveis da atividade madeireira, como serragem, com polietileno (PE) de baixa densidade, que atua como aglutinante, dando liga à madeira (figura 15) (SANPLAST, 2007).



FIGURA 15 – PLACAS DE COMPÓSITOS MADEIRA/PLÁSTICO

FONTE: Sanplast (2007)

Outros exemplos de produtos fabricados com compósitos madeira/plástico podem ser gavetas para mobiliário (figura 16) e caixas para tomadas (figura 17), realizadas através do processo de compressão, com o uso de moldes de alumínio.



FIGURA 16 – GAVETA  
FONTE: Razera (2006)



FIGURA 17 – CAIXAS PARA TOMADA  
FONTE: Razera (2006)

Um grande exemplo do uso de compósito na fabricação de um produto é o televisor portátil "*Jim Nature*", do Designer Philip Starck, fabricado pela empresa Saba. Esta peça utiliza madeira de alta densidade e plástico, a partir de moldagem de resina – impregnada de serragem e pó de madeira – fixado com parafusos (figura 18) (CARMEL-ARTHUR, 2000).



FIGURA 18 – PHILIP STARCK"  
Fonte: Carmel-Arthur (2000)

### 2.6.3 Novas Propostas Para Aplicação de Compósito Madeira/Plástico

De acordo com a Revista Plástico (2006), entre os grandes benefícios que o compósito pode proporcionar está a facilidade de moldagens e de formatos, permitindo uma grande gama de formas e estudos em design.

Assim como o compósito já foi aplicado em produtos como pisos, mobiliários e eletrodomésticos de “linha marrom” (televisão), esta pesquisa tem como objetivo a aplicação na “linha branca” de eletrodomésticos. Os produtos desta linha são assim chamados em virtude da utilização de chapa de aço (que muitas vezes é de cor branca) nos seus gabinetes (carcaças).

No que se refere especificamente à “linha branca”, a inovação tecnológica tem caráter incremental, focando na diferenciação de produto – com constantes mudanças de *design* e maior preocupação com a usabilidade dos produtos – e no aprimoramento de processos produtivos que permitam redução de custos de produção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA - ABINEE, 2010).



### 3. PRODUTOS “LINHA BRANCA”

#### 3.1 DEFINIÇÃO

De acordo com a ELETROS (2009), organização que representa a indústria de bens de consumo duráveis de eletrodomésticos e eletrônicos, a categoria é subdividida em três tipos.

1. Eletrodomésticos de “linha branca”;
2. Eletrodomésticos de linha marrom;
3. Eletrodomésticos portáteis.

Em termos mundiais, a indústria de eletrodomésticos do tipo “linha branca” agrega os bens de consumo duráveis não portáteis, como fogões, fornos de micro-ondas, refrigeradores, máquinas de lavar *freezers* e condicionadores de ar (ELETROS, 2009).

Os eletrodomésticos da linha marrom são compostos pelos seguintes produtos: televisores, vídeo cassetes, DVD *players*, aparelhos de áudio (*mini-systems*, *micro-systems*, *CD players*, *walkmans*), *home theaters*, *receivers*, computadores e seus periféricos, câmeras digitais e analógicas, câmeras de vídeo, projetores de imagens e aparelhos de som automotivos (Ibidem).

A linha de eletrodomésticos portáteis é composta por: ferros de passar roupa, liquidificadores, aspiradores de pó, torradeiras, cafeteiras, ventiladores, secadores de cabelo, máquinas de depilação feminina, sanduicheiras, *grill* elétricos, fornos elétricos de mesa e alisadores de cabelos (Ibidem).

## 3.2 HISTÓRICO

### 3.2.1 A Indústria Mundial de Eletrodomésticos “Linha Branca”

A indústria de “linha branca” surgiu nos Estados Unidos, na década de 1920, como uma estratégia de diversificação das indústrias elétricas, apoiadas na capacidade inventiva e na tradição de pesquisa de empresas como a *General Electric* e *Westinghouse* (MATUSITA, 1997).

A difusão de grande parte dos eletrodomésticos, principalmente, no mercado norte-americano, iniciou-se após a Primeira Guerra Mundial. Porém, o período de difusão de cada aparelho foi distinto, pois se associou às suas respectivas funções e níveis de aceitação (Ibidem).

Os mercados mais antigos de “linha branca” são, respectivamente, o norte-americano e o europeu. Nos Estados Unidos, a introdução e difusão dos eletrodomésticos ocorreram na década de 1920, época do grande desenvolvimento tecnológico no período entre guerras. Na Europa (Inglaterra), isso só ocorreu nos anos de 1950 (SILVA, 2005).

Muitas transformações têm ocorrido nessa indústria devido ao contexto de globalização que tem incidido, de forma sistemática, sobre a estrutura econômica e produtiva de países e indústrias. Mas a indústria de “linha branca” atualmente se caracteriza pelo predomínio de um número reduzido de grandes empresas internacionalizadas, onde as cinco maiores respondem por quase 80% do faturamento mundial. No Brasil, esse processo seguiu as tendências internacionais, pois, nos anos de 1990, as grandes empresas brasileiras foram adquiridas pelos

principais grupos mundiais de fabricação de eletrodomésticos (PERTICARRARI, 2003).

A indústria mundial de eletrodomésticos de “linha branca” tem alterado sua estrutura patrimonial nos últimos anos, visando a novos cenários econômicos e potencialidades de mercado em diferentes partes do globo terrestre (Ibidem).

Atualmente, a indústria de eletrodomésticos de “linha branca” pode ser considerada como um caso típico de oligopólio misto mundial controlado por um número reduzido de grandes empresas especializadas e internacionalizadas que dominam tanto a produção quanto o mercado internacional. Entre essas empresas, destacam-se a Whirlpool (EUA), Electrolux (Suécia), General Electric (EUA), Bosch-Siemens (Alemanha), Haier (China), Maytag (EUA), Merloni (Itália), Miele (Alemanha), Elco Brandt (França), Liebherr (Alemanha) e Amaná (EUA) (CUNHA, 2003).

### 3.2.2 A Indústria Brasileira de Eletrodomésticos “Linha Branca”

O setor de eletrodomésticos “linha branca” foi implantado no país na década de 1940, incentivado por programas de substituição de importação de bens de consumo duráveis. Até a década de 1970, essa indústria era composta por empresas predominantemente de capital nacional que, frequentemente, mantinham uma administração de caráter familiar e a produção era destinada ao mercado interno (SILVA, 2005).

A indústria brasileira de “linha branca” vem sofrendo transformações desde a década de 1970, particularmente no que se refere à estrutura e às estratégias adotadas pelas principais empresas do setor. Até então, essa indústria era

caracterizada pela existência de um número restrito de grandes empresas familiares nacionais, que foram gradativamente substituídas por um pequeno número de grandes empresas, controladas por conglomerados estrangeiros e participação marginal das empresas nacionais (Ibidem).

A partir da década de 1990, um número restrito de empresas estrangeiras passou a controlar a produção e o mercado doméstico, permitindo, no âmbito nacional, a reprodução da estrutura e das estratégias predominantes na indústria internacional (Ibidem).

Com a abertura de mercado no Brasil, acentuou-se a concorrência internacional e a atenção das empresas em relação às tendências mundiais de design. Neste contexto houve o universo de relações e o processo de design industrial se torna mais complexo (ONO, 1999).

A partir dos anos 90 uma maior atenção é dada, ao desenvolvimento de produtos, à definição do perfil dos usuários e às preferências e necessidades deles. As empresas passaram a se preocupar mais com as tendências mundiais de design e com a qualidade e racionalização dos custos de seus produtos, que passaram a demandar um melhor cuidado e especificação de materiais, sendo “testados” e ajustados de acordo com seus limites de resistência (ONO, 1999).

Para Cunha (2003), as inovações incrementais do produto são fundamentais para estimular o sentimento de obsolescência dos eletrodomésticos, buscando ampliar o consumo. Essas inovações incrementais, relacionadas ao processo de produção, visam à diminuição dos custos e dos preços dos produtos finais, à elevação da qualidade dos produtos, à redução de estoques de produtos intermediários e finais, ao aumento da flexibilidade produtiva, ao aumento da

produtividade, ao aperfeiçoamento da relação com os fornecedores e a um melhor atendimento ao cliente.

Tais inovações estão associadas à utilização de plataforma comum e padronização de componentes de diferentes produtos, à difusão da automação em cada etapa do processo produtivo, à incorporação de técnicas de controle de qualidade, à adoção de técnicas de reciclagem e à utilização de novos métodos de organização da produção e do trabalho (SILVA, 2005).

O fator custo apresenta-se como o principal obstáculo à diversificação de produtos para os diferentes mercados locais, em virtude das corporações terem como principal objetivo o lucro e a ampliação do capital e verem no intercâmbio de componentes a produtos “globais” uma redução de custos (ONO, 1999).

Pina (2004) destaca que as mudanças tecnológicas nesse setor ocorrem de forma relativamente lenta e, dessa forma, as condições de competitividade acabam se associando à capacidade de gerenciamento de custos das empresas, ampliando, assim, a importância dos novos métodos e técnicas de organização e de gestão da produção e do trabalho que, além de não requererem altos investimentos, ainda colaboram para a implantação de duas das principais estratégias das grandes empresas: redução dos custos e ampliação da qualidade.

### 3.3 O AÇO UTILIZADO NA “LINHA BRANCA”

#### 3.3.1 Definição

O aço pode ser encontrado no mercado em diferentes tipos: aço laminado a quente, laminado a frio, galvanizado, em chapas metálicas e aço pré-pintado,

conforme figura 19 (CSN, 2009). Para esta pesquisa, o aço que será analisado com mais precisão será o pré-pintado.

	Propriedades	Aplicações
<b>Laminado a quente</b>	Atendem às principais aplicações do mercado transformador de aço.	Construção civil, Mecânica, Autopeças, Indústria de móveis, tubos, implementos agrícolas e outros.
<b>Laminado a frio</b>	Recozimento contínuo de chapas e recozimento em caixa de alta convecção estrutural de alta resistência.	Construção civil e nas indústrias automobilística, Utilidades domésticas, <b>Eletroeletrônicos</b>
<b>Galvanizado</b>	A galvanização é um dos processos mais efetivos e econômicos empregados para proteger o aço contra a corrosão. A proteção do aço pelo revestimento de zinco se desenvolve por meio de dois mecanismos: proteção por barreira exercida pela camada de revestimento e proteção galvânica ou sacrificial, que ocorre na exposição simultânea do par aço-zinco	Construção civil e nas indústrias automobilística, Utilidades domésticas, Ônibus
<b>Folhas metálicas</b>	São fabricadas a partir de processos diversos, atendendo às demandas requeridas de resistência, revestimento, acabamento e dimensão. São inúmeras especificações, cuidadosamente estudadas, obtidas e fornecidas de acordo com as necessidades de cada aplicação.	Embalagens para diversos segmentos de mercado.
<b>Aço Pré-pintado</b>	Aço Zincado, pré-tratado, que é o principal substrato para o processo de coil coating (Pintura).	Construção civil, Utilidades Domésticas, <b>Linha branca</b> , Móveis de aço, Equipamentos eletro-eletrônicos, Autopeças e Embalagens.

FIGURA 19 – INDÚSTRIA SIDERÚRGICA – TIPOS DE AÇO

FONTE: Adaptada de CSN (2009)

A produção de chapas de aço divide-se em cinco grupos principais: laminado a quente, laminado a frio, galvanizado, folhas metálicas e aço pré-pintado. Os produtos mais fabricados com chapa pré-pintada, de acordo com a CSN (2009), são:

- a. Construção Civil: as telhas e tapamentos laterais, painéis arquitetônicos e termoacústicos, forros, portas e portões,

- esquadrias, eletrocalhas, estruturas metálicas leves, entre outros;
- b. Eletrodomésticos de “linha branca” e de linha marrom: refrigeradores, *freezers*, fogões, fornos elétricos e de microondas, lavadoras de roupa e de louça, secadoras, condicionadores de ar, móveis, gabinetes para computador, vídeo cassetes, televisores, luminárias, entre outros;
  - c. Autopeças e acessórios: pintura de chassis e assoalho, entre outros;
  - d. Embalagens de aço: para embutidos, pescados, leite e outros alimentos, tintas e vernizes, bebidas, embalagens decorativas, entre outros.

A chapa de aço pré-pintada pode ser fabricada em vários metais-base, entre eles: zincado a quente, eletrozincado, zinalume, laminado a frio, folha de flandres e aço Inox. Com exceção do aço inox e do alumínio todos os outros tipos são aço com banho de zinco, ou laminados. Os acabamentos são variados, podendo ser liso, texturizado, metálico ou perolizado (TEKNO, 2009).

As chapas pré-pintadas podem ser encontradas com espessura de 0,25 mm a 1,55 mm e largura de 800 mm a 1600 mm (INAL, 2009). De acordo com entrevista concedida por Pietruza (ver apêndice A), as chapas de aço já podem ser fornecidas cortadas no tamanho necessário para cada tipo de eletrodoméstico.

As chapas de aço pré-pintadas estão presentes nos gabinetes de máquina de lavar roupas, portas e gabinetes de refrigeradores, laterais e painéis de fogões e gabinete de micro-ondas, conforme figura 20 (CSN, 2009).



FIGURA 20 – IMAGENS DA CHAPA DE AÇO PRÉ-PINTADA NA “LINHA BRANCA”  
FONTE: CSN (2009)

O mercado de aço para “linha branca” sofreu mudanças de cenário nesta última década, com a redução da espessura da chapa e a consolidação da utilização do galvanizado, que foram os fatos mais marcantes (Ibidem).

O princípio da pré-pintura está alicerçado em três fases básicas:

1. Pré-tratamento;
2. Pintura por meio de rolos;
3. Cura.

O aço pintado no processo contínuo passa por várias etapas de tratamento e revestimento até estar pronto para ser enviado ao cliente (figura 21). Podem ser encontradas em dez cores padronizadas: branca, dois tons de amarelo, dois tons de cinza, dois tons de vermelho, um tom de verde e dois tons de azul (Ibidem).

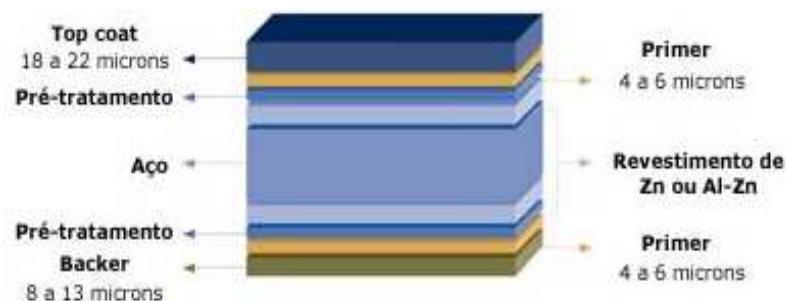


FIGURA 21 – PROCESSO DE PRÉ-PINTURA DO AÇO  
FONTE: CSN (2009)



### 3.4 PRODUTOS “LINHA BRANCA”

Conforme Cunha (2003), a indústria de eletrodomésticos “linha branca” pode ser considerada tecnologicamente madura por ser caracterizada pela existência de inovações incrementais nos seus produtos.

Com o objetivo de recordar formas e materiais utilizados em épocas anteriores e atuais serão apresentados a seguir alguns produtos integrantes da “linha branca”.

Um ótimo exemplo de eletrodoméstico “linha branca” é o refrigerador, que, além de ser o primeiro eletrodoméstico a ser desenvolvido e produzido, obteve diversas alterações no seu formato e nos materiais que o compõem. As figura 22 e figura 23 retratam uma das primeiras geladeiras fabricadas, ainda desenvolvidas com madeira em sua estrutura externa e em chapas de aço em sua estrutura interna.



FIGURA 22 – GELADEIRA ANTIGA, 1920  
FONTE: Geladeiras antigas (2009)



FIGURA 23 – GELADEIRA ANTIGA (VISTA INTERNA) 1920  
FONTE: Geladeiras antigas (2009)

Os refrigeradores fabricados na década de 1930 já apresentavam chapa de aço em seus gabinetes, com variações de cores e tonalidades, em substituição à

madeira. Como exemplo, é apresentado o refrigerador da empresa americana Stewart Warner, fabricado no ano de 1932, conforme a figura 24 (GELADEIRAS ANTIGAS, 2009).



FIGURA 24 – REFRIGERADOR STEWART WARNER 1933

FONTE: Geladeiras Antigas (2009)

Na década de 1950, os refrigeradores apresentavam-se arredondados, com forte influência do design norte-americano. Os puxadores das portas eram do tipo alavanca, com trava, metal cromado e destacavam-se muito em relação ao gabinete que era de outra cor e esmaltado. Eram fabricados com painéis prensados, e apresentavam grande resistência, devido ao grande tamanho da estrutura e os materiais utilizados nele (ONO, 1999).

A forma era condicionada pelo processo produtivo, ou seja, prensagem de painéis e forja de metais que possibilitavam somente a conformação de curvas amplas e raios suaves (Ibidem).

É exemplo desta época o refrigerador Cònsul Júnior, que foi o primeiro minirrefrigerador fabricado no Brasil (figura 25). Com aproximadamente 50l, era indicado para cozinhas pequenas, casas de veraneio, bares domésticos, laboratórios, consultórios médicos e escritórios (CÔNSUL, 2010).



FIGURA 25 – REFRIGERADOR CONSUL JÚNIOR

FONTE: C nsul (2010)

Seu gabinete foi fabricado inteiramente em aço extraforte, com ângulos reforçados para maior solidez e resistência, com acabamento especial contra oxidação, através de uma camada de esmalte s ntetico sobre a demão base (Ibidem).

Como isolante térmico, as portas continham poliestireno de alto impacto, e o corpo do gabinete, l  de vidro. Os p s eram em madeira maciça, com altura de 0,30 m, que poderiam ser retirados para fixação do aparelho   parede ou para permitir sua colocação sobre outro móvel. Com dimensões 0,54 x 0,54 x 0,63 m (H x L x P), sem os p s, e com peso de 60 kgf, poderia ser encontrado nos cores azul, verde e branco (C NSUL, 2010).

O primeiro refrigerador fabricado no Brasil, t b m   da década de 1950, com 198L de capacidade e utilizando querosene, no sistema chamado de absorção, onde através do calor se produz frio. Possuía gabinete em aço com pintura tinta esmalte branco, conforme a figura 26 (Ibidem).



FIGURA 26 – REFRIGERADOR CONSUL CM451

FONTE: C nsul (2010)

Outro exemplo de produto fabricado na década de 1950 eram os fogões, que além de não possuir m vidro no painel frontal, ainda possuíam abas que exigiam mais presença de material (figura 27).



FIGURA 27 – EXEMPLO DE FOGÃO DA DÉCADA DE 50

FONTE: Dako (2010)

No início da década de 60, os p s metálicos são eliminados, o gabinete passa a ficar rente ao chão e as alavancas das portas são posicionadas na horizontal. Formas, tecnologia, uso dos materiais, e os acabamentos são similares aos da década anterior. Em meados de 60, adota-se o predomínio de linhas retas, possibilitado pelo avanço tecnológico, que ocasiona uma maior facilidade aos processos de fabricação (ONO, 1999).

Os refrigeradores assumem gabinetes com menor quantidade de aço e pintura eletrostática, como o refrigerador superluxo da Cônsul (figura 28-a), 146l, e o refrigerador capacidade total (figura 28-b), com 334l de capacidade. Também ilustram a preocupação com a diminuição de material utilizado e, consequente diminuição de peso nos produtos, sendo em média 141% menos pesados que os produtos da década de 1950. O refrigerador da figura 12-a apresenta tampo em fórmica que possibilita a utilização do aparelho como apoio (CÔNSUL, 2010).



a) – REFRIGERADOR SUPER LUXO



b) – REFRIGERADOR CAPACIDADE TOTAL

FIGURA 28 – DIFERENTES TIPOS DE REFRIGERADORES DA DÉCADA DE 1960  
FONTE: Cônsul (2010)

Outras características são marcantes nestes produtos, como: compressor silencioso e econômico, presença de ímã na porta, que aumenta a resistência térmica ao diminuir a fuga de ar, diminuição da espessura das laterais, mediante evolução do sistema de isolamento térmico, moldura da porta em alumínio polido anodizado, e fabricação nas cores verde, azul, vermelho e branco (Ibidem).

Porém, nem todos os eletrodomésticos utilizavam chapa de aço. Por exemplo, a máquina de lavar roupas ainda possuía madeira maciça em seu gabinete, como o produto da empresa brasileira Wanke, lançado no ano de 1964 e que teve a sua produção estendida até 1990 (figura 29). Esse produto possuía cintas

de aço para sustentar a carcaça em madeira e pés com rodízios metálicos (WANKE, 2010).



FIGURA 29 – MÁQUINA DE LAVAR ROUPA  
FONTE: Wanke (2010)

Nos anos 70, predominam ainda as linhas retas, mas já se observa uma redução no dimensionamento da estrutura e uso dos materiais. Há uma maior utilização do plástico e o deslocamento do motor para a parte traseira possibilita um maior aproveitamento do espaço interno (ONO, 1999).

Verificam-se contribuições na tecnologia de materiais, com o lançamento do isolamento com lã de vidro e poliuretano nos refrigerados pela Whirlpool. Também são destaques desta época o acendimento automático de forno e o revestimento térmico na parede do forno dos fogões. Lança-se pela Brastemp o degelo automático, o fecho magnético e o termostato nos fogões (Ibidem).

Linhas sóbrias, gabinetes com aplicação de outros materiais, como a fórmica laminada de madeira, em conjunto com a chapa de aço – indicando um início do processo de personalização –, diversidade de cores, e acabamento externo com pintura eletrostática antioxidação, também são exemplos (CÔNSUL, 2010).

O refrigerador C nsul Júnior Trailer (figura 30-a)   um ótimo exemplo de produtos desta época, pois apresenta gabinete em  o e painel frontal laminado de madeira, que pode ser substituído, de acordo com a decisão do usuário (figura 30-b),  l m de oferecer a possibilidade de ser embutido. Quando não embutido, pode ter o seu tampo utilizado para apoio. Possui capacidade de 95l, dimensões de 0,72 x 0,51 x 0,57 m (H x L x P) e peso de 32.7 kgf. A média de peso dos produtos se manteve semelhante ao da década anterior (Ibidem).



a) – EXEMPLO DO REFRIGERADOR



b) – Detalhe painel

FIGURA 30 – REFRIG. JÚNIOR TRAILER

FONTE: C nsul (2010)

Nos anos 80 os produtos não apresentam grandes alterações em termo de formas, possuindo apenas imagem mais “limpa”. Encontram-se gabinetes em cores azul claro, cinza, marrom, e bege,  l m do branco. O azul claro e o cinza são eliminados no final da década. Os puxadores passam a ser embutidos e localizados na parte superior da porta (ONO, 1999).

O aspecto mais significativo nos produtos dessa época, foi a redução na média de peso dos produtos, sendo de 108 kgf por m  de produto, 27% em média mais leve em relação   época anterior. Isto representou uma significativa redução na quantidade de materiais utilizados na fabricação dos produtos, e têm substitu  es de materiais mais pesados por mais leves. O refrigerador Maxi Luxo –

com capacidade de 340l, dimensões de 1,45 x 0,68 x 0,74 m (A x L x P) e peso de 79 kgf –, a secadora de roupa e o condicionador de ar representam os produtos fabricados nesta época, conforme figura 31-a,b,c, respectivamente (CÔNSUL, 2010).



FIGURA 31 – EXEMPLO DE PRODUTOS DÉCADA DE 1980

FONTE: Cônsul (2010)

Na década de 1990, os produtos assumiram padrão mais moderno, viabilizados pela introdução de novos materiais e processos tecnológicos. Os perfis em plástico predominam, e as cores branca, marrom ou cinza eram as ofertadas. Cresce a busca pela diversidade de produtos fabricados, assim como a preocupação com questões ecológicas, ao buscar a redução do impacto ambiental dos mesmos (ONO, 1999).

Novos detalhes como portas garrafas, materiais transparentes, e resistentes, no interior dos produtos, portas reversíveis, e produtos com novas funções, tais como o acendimento automático, forno auto-limpante, timer, puxadores embutidos, lavadoras com cestos em inox e parte superior do gabinete (tampa e painéis) em plástico, são exemplos do conteúdo destes produtos (ONO, 1999).



O refrigerador Biplex 41 (ver figura 32), com capacidade total de 402l, dimensões 1,76 x 0,71 x 0,62 m (A x L x P) e peso de 80 kgf, representa a década de 1990, na qual a média de peso por m<sup>3</sup> de produto foi de 103,9 kgf. Neste contexto, há uma redução de, aproximadamente, 3,9% do peso dos produtos em relação à década de 1980 (Ibidem).



FIGURA 32 – REFRIG. BIPLEX

Após o ano 2000, começaram a ocorrer modificações mais significativas no formato dos eletrodomésticos, principalmente, em virtude do aumento da concorrência. Inicia-se a transformação dos produtos em verdadeiros objetos personalizados, que buscavam uma identificação da parte do cliente (CUNHA, 2003).

A empresa Brastemp, que nos anos 2000 alterou o formato das campanhas de mídia, é um exemplo de mudança nos perfis dos produtos, ao colocar em cena o consumidor dos seus produtos com concepção de "não-consumidor". Desta forma, lançou a assinatura "Seja Autêntico", com a criação do minirrefrigerador Brastemp *Plá*, com capacidade para 80l, que se "veste" com painéis assinados por grandes estilistas, conforme figura 33 (BRASTEMP, 2009).



FIGURA 33 – MINIRREFRIGERADOR BRASTEMP

FONTE: Brastemp (2009)

No universo das geladeiras, essa opção é uma fuga à monotonia dos imãs e dos telefones de farmácia, pois é um produto que possui a frente customizada. O painel apresentado é da grife Cavaleria, tendo ainda os painéis da grife Lódice e da estilista Gisele Nasser. O tom cinza traz um efeito moderno e discreto para destacar as imagens da porta (Ibidem).

Esse sistema de adesivos também já está sendo aplicado a fornos micro-ondas. O tradicional gabinete em chapa de aço branca é personalizado através de adesivos autocolantes e diferenciados, deixando o produto com aspecto personalizado, conforme figura 34 (Ibidem).



FIGURA 34 – MODELO DE MICRO-ONDAS COM ADESIVOS

FONTE: Brastemp (2009)

Outra estratégia de marketing utilizada é o redesign de produtos retrô. A empresa Brastemp lançou a minigeladeira retrô anos 1950 (figura 35), referenciando o refrigerador Cênsul Júnior, conforme figura 25. As diferenças mais acentuadas são os pés formato palito, marco dos anos 1950, que eram em madeira, e no formato do gabinete, que era mais arredondado (Ibidem).



FIGURA 35 – MINIGELADEIRA RETRÔ ANOS 50  
FONTE: Brastemp (2009)

Outro design retrô pode ser verificado na máquina de lavar roupa, estilo anos 1960, da empresa Wanke, conforme figura 36, que é réplica da lavadora de roupas fabricada pela empresa entre as décadas de 1960 e 1990 (figura 29). A lavadora tem o gabinete confeccionado em madeira *pinus* – diferente dos tradicionais gabinetes de máquinas de lavar roupas em chapas de aço e plástico –, tratado quimicamente com impermeabilizante, e pintado com verniz natural, ou pigmentado. Internamente, possui painel e tanque em polipropileno, o que impede o contato da água com a madeira. Também possui pés em material plástico, e pode ser encontrada nas cores marfim e imbuia (WANKE, 2010).



FIGURA 36 – MÁQUINA DE LAVAR ROUPA RETRÔ

FONTE: Wanke (2010)

A ideia de modificar o visual dos produtos, principalmente nas formas, com diferenciação dos estilos tradicionais, está sendo estudada com frequência. Se o material utilizado nos gabinetes não permite muitas opções de formas diferenciadas, os efeitos e inovações ocorrem nas cores, e adesivos são aplicados nos produtos. Exemplo disto é o resultado do trabalho da loja de design MiCasa, ao lançar a coleção *Moda Home*, que, entre os produtos para casa, lança também as minigeladeiras com design retrô e estampas da estilista Adriana Barra, conforme figura 37 – a e b (MICASA, 2008).



a) – MINIGELADEIRA PAC-MAN



b) – MINIGELADEIRA SPEEDY RACER

FIGURA 37 – EXEMPLO DE GELADEIRAS

FONTE: Micasa (2008)

Entre os refrigeradores também é possível verificar variedade de acabamento, no intuito de diferenciação dos produtos. A Samsung (2009) traz algumas inovações na aparência dos seus produtos, e oferece ao cliente desde os modelos tradicionais (figura 38-a), com todo o gabinete fabricado em chapa de aço pré-pintado, até produtos mais modernos, revestidos em aço inox (figura 38-b).



a) – REFRIGERADOR TRADICIONAL



b) – REFRIGERADOR EM INOX

FIGURA 38 – EXEMPLO DE REFRIGERADOR

FONTE: Samsung (2009)

A tendência por uso de chapa de aço inox, em especial escovada, também é aplicada a outros produtos da “linha branca”, como é o caso de fogões, *freezers* e fornos de micro-ondas, conforme figura 39 (CÔNSUL, 2010).



FIGURA 39 – FORNO MICRO-ONDAS EM INOX

FONTE: Cônsul (2010)

Outro produto destaque é o refrigerador *Side-by-Side* (figura 40-a), com espelhos nas portas, projetado para pessoas que buscam estilo e sofisticação sem abrir mão da *performance*, e o refrigerador com acabamento reflexivo (figura 40-b),

que possui uma película especial colorida e reflexiva aplicada sobre a chapa de aço (SAMSUNG, 2009).



FIGURA 40 – EXEMPLO DE REFRIGERADORES

FONTE: Samsung (2009)

A indústria de eletrodomésticos “linha branca” também começa a trabalhar com formas curvas para os produtos. Consequentemente, o uso de outros materiais, além do aço pré-pintado, torna-se necessário. O material mais utilizado, em substituição ao aço, tem sido o plástico, o qual permite moldar e conseguir formas diferenciadas, conforme apêndice A.

Um exemplo de inovação de produtos com formas sinuosas e design arrojado é o forno micro-ondas da Brastemp, que é fabricado em plástico, com acabamento na cor prata, com capacidade para 13l, conforme figura 41 (BRASTEMP, 2009).



FIGURA 41 – MICRO-ONDAS BRASTEMP

FONTE: Brastemp (2009)

Outro exemplo de produtos com formas diferenciadas é a minilavadora de roupas *Eggo* – também invenção da Brastemp – com formato oval, diferente de todas as formas retas das lavadoras de roupas existentes no mercado. Também não possui chapa de aço em seu gabinete, sendo este fabricado apenas em plástico, conforme figura 42 (Ibidem).



FIGURA 42 – LAVADORA EGGO

FONTE: Brastemp (2009)

Analisando a história dos eletrodomésticos é possível concluir que muitas mudanças já ocorreram nesses produtos, conforme as mudanças de gosto, hábito e/ou necessidade dos consumidores. Tais mudanças têm buscado a simplificação do uso, a redução do tamanho dos aparelhos, a sofisticação dos produtos, a elevação da relação espaço útil x espaço ocupado pelos produtos. Também, destacam-se as reduções no consumo de água, na quantidade de energia utilizada e do nível de ruído (CUNHA, 2003).

Alterações em termos de materiais também são evidentes, pois nas últimas décadas os produtos alteraram as suas formas, com o avanço tecnológico de produção, indo do arredondado para as formas retas e sóbrias. As cores e

acabamentos também variaram bastante, de produtos com cores primárias<sup>3</sup>, a produtos com cores neutras (branco e cinza) (ONO, 1999).

Ocorreu também um severo dimensionamento das dimensões e do uso de materiais, com menor quantidade de materiais (em especial o aço) e diminuição da espessura das laterais dos produtos, devido à evolução do sistema de isolamento térmico e através de contribuições na tecnologia de materiais, com o lançamento do isolamento lã de vidro e poliuretano. Todas estas alterações, de formas e materiais, ocasionaram considerável redução na média de peso dos produtos (Ibidem).

A introdução de novos materiais e processos tecnológicos também possibilitou maior utilização do plástico, em partes onde antes era aplicada a chapa de aço, e também em acessórios e peças, fabricados em materiais transparentes, e resistentes, no interior dos produtos. Portas reversíveis, e acessórios que facilitam a utilização dos produtos, como é o caso dos materiais auto-limpantes, também são contabilizados como inovações (Ibidem).

Dentro deste universo de aplicação de novos materiais, o alumínio é um outro exemplo de material que está sendo introduzido na linha de produção dos gabinetes de eletrodomésticos “linha branca”. Este antes era utilizado apenas na fabricação de motores de eletrodomésticos e sistemas de trocas térmicas de refrigeradores e *freezers*. Por ser mais leve e mais resistente à oxidação que o aço inoxidável e, também, considerado mais agradável esteticamente, os eletrodomésticos de alumínio começam a se destacar (REVISTA ALUMÍNIO, 2009).

---

<sup>3</sup> Cores primárias se refere a cores inteiramente distintas umas das outras, no sentido de não apresentarem valor cromático em comum, sendo elas o azul, o vermelho e o amarelo (OSTROWER, 1983).



Um dos fatores de os produtos fabricados em alumínio possuírem um grande apelo estético, com visual de sofisticação, é por serem mais agradáveis ao toque do que o aço, ao não transmitir sensação de frio. São, também, características procuradas no uso do alumínio, e que constituem preocupação por parte das indústrias, a utilização de materiais que possuem menor condutividade térmica, maior resistência à corrosão, menor peso e superior tempo de vida útil. (Ibidem).

Por outro lado, o alumínio também é um produto de grande impacto ambiental, principalmente se for fabricado com material primário (primeiro uso), devido ao excessivo consumo de energia em sua fabricação (ECOINDICATOR, 1999).

Todo este estudo permite avaliar que o mercado está mudando e novas opções de acabamento e de materiais podem ser estudados, e utilizados, em substituição aos tradicionais, com potencial de serem bem aceitos pelos clientes (CUNHA, 2003).

Dentro deste contexto, de novas opções de materiais aplicados na “linha branca”, o compósito também pode ser um material possível de aplicação em gabinetes destes produtos. Pois, reúne características procuradas pelas indústrias, tais como ser agradável ao toque, sem transmitir sensação de frio e, por ser fabricado em madeira e plástico possui menor condutividade térmica e maior resistência à corrosão, se comparado à chapa de aço. Também podem contribuir para a fabricação de sofisticados produtos, com aparência diferenciada de tudo que existe no mercado, podendo ser em tom de madeira ou em cores tradicionais.

#### **4. PROPRIEDADES DO COMPÓSITO MADEIRA/PLÁSTICO**

Para esta pesquisa, de aplicação do compósito nos gabinetes de eletrodomésticos “linha branca”, é de grande relevância o estudo das propriedades mecânicas, térmicas e elétricas; visto serem produtos que utilizam chapa de aço como revestimento externo, além de estarem em constante contato com a umidade.

As propriedades mecânicas são importantes para avaliar a resistência do material compósito, com base na espessura pesquisada. As propriedades elétricas apontam o nível de isolamento elétrico de um material, na presença, e na ausência, de umidade. As propriedades térmicas demonstram o nível de condutividade térmica dos materiais; no caso deste estudo, é importante para aplicação de compósito em paredes de produtos que possuam função de refrigeração.

##### **4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS**

As propriedades mecânicas do compósito madeira/plástico – módulo de elasticidade e ruptura, compressão paralela e ligação interna – utilizadas nesta pesquisa, serão referências dos resultados obtidos por Razera (2006):

###### **4.1.1 Módulo de Elasticidade e Ruptura**

Módulo de elasticidade pode ser definido como a relação entre as tensões e as deformações sob o limite de proporcionalidade – tensão máxima sob a qual as deformações são proporcionais às tensões. E módulo de ruptura é a tensão sob a qual o corpo, submetido a ela, se rompe (PARETO, 2003).

A Norma Européia EN 312-3 (1996) apresenta valores mínimos para painéis aglomerados com densidade na faixa de 0,60 g/cm<sup>3</sup> a 0,80 g/cm<sup>3</sup>, de 18.000 kgf/cm<sup>2</sup> para MOE<sup>4</sup> e de 140 kgf/cm<sup>2</sup> para MOR<sup>5</sup>. As chapas fabricadas com adesivo melamina-uréia-formaldeído (MUF) atingiram média de resultados de flexão estática (MOR) e (MOE) equivalente ao solicitado pela norma. Porém, apresentaram melhores resultados em flexão estática (MOR) e (MOE) quando ocorreu aumento do teor da resina MUF de 10% para 20% e quando ocorreu aumento do tempo de prensagem de seis minutos para dez minutos.

#### 4.1.2 Compressão Paralela

Compressão paralela é a atuação de uma força sobre um corpo, que provoca um esforço de compressão com a tendência de esmagar as partículas do corpo umas contra as outras. As forças internas do corpo apresentam reação às forças externas, equilibrando-a ou não, conforme a tensão e conforme a natureza do material do qual é composto (PARETO, 2003).

No ensaio de compressão paralela realizado com o compósito, de acordo com a norma ASTM D 3501 (1976), as chapas produzidas com teor de resina MUF de 20% apresentaram melhores resultados em comparação às chapas produzidas com 10% de resina. Houve também um aumento significativo nos valores de compressão paralela com o aumento do tempo de prensagem de seis minutos para dez minutos.

---

<sup>4</sup> Módulo de elasticidade de um material.

<sup>5</sup> Módulo de Ruptura de um material.

#### 4.1.3 Ligação Interna

Quando uma amostra é testada em tração perpendicular, geralmente ocorre a ruptura na porção média da sua espessura, que corresponde à região de menor densidade e ligação entre partículas (IWAKIRI, 1989).

A norma EN 312-3 (1996) solicita valores mínimos de 4,0 kgf/cm<sup>2</sup> para os painéis aglomerados com densidade na faixa de 0,60 g/cm<sup>3</sup> a 0,80 g/cm<sup>3</sup> nos ensaios de ligação interna. Os painéis fabricados com o adesivo MUF apresentam valores médios de ligação interna superiores ao valor mínimo exigido pela referida norma. Entretanto, para chapas produzidas com o adesivo (MUF), o aumento no teor de 10% para 20% de resina resulta em um pequeno incremento nos valores médios de ligação interna. E o aumento do tempo de prensagem de seis minutos para dez minutos, resulta em um aumento significativo nos valores de ligação interna.

### 4.2 PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS MATERIAIS

#### 4.2.1 Choques Elétricos

Modernos equipamentos domésticos, entre eles os eletrodomésticos, facilitam a vida moderna. Porém, o mau uso da eletricidade, as condições precárias das instalações – na maioria das residências –, além de um número mínimo de casas e apartamentos serem adaptados com condições ideais de aterramento, ocasiona riscos constantes de choques elétricos (ABRACOPEL, 2009).

A Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade (ABRACOPEL, 2009) realizou uma pesquisa sobre a ocorrência de choques elétricos com 250 pessoas de todos os tipos – leigos e profissionais –, das

quais 86% responderam que já sofreram algum tipo de choque elétrico. Entre as maiores causas apontadas para choque elétrico estão: eletrodomésticos, com 23%; chuveiros elétricos, com 22%; e substituições de lâmpadas e tomadas, com 20%.

Outro levantamento estatístico, realizado pelo programa Casa Segura (2007), com o intuito de indicar o índice de choque elétrico sofrido pela população pesquisada, bem como as causas e consequências destes acontecimentos, apontou que 84% das 330 pessoas pesquisadas já foram vítimas de choque elétrico, e os motivos foram diversos: 40%, fios desencapados / uso de benjamins ou extensões; 32%, chuveiro; 13%, geladeira/máquina de lavar; 8%, ao ligar equipamentos elétricos; 6% ao trocar lâmpadas; e 1%, outros motivos.

#### 4.2.2 Materiais Isolantes Elétricos

Isolantes elétricos são aqueles materiais que têm poucos elétrons livres e que resistem ao fluxo dos mesmos. Alguns materiais desta categoria são: plástico (resinas), silicone, borracha, vidro (cerâmicas), óleo, água pura deionizada. A resistência desses materiais ao fluxo de cargas é alta, é por isso usada para encapar fios elétricos de cobre, seja em uma torre de alta tensão ou no cabo de uma secadora (FEMA ISOLANTES, 2010).

O que torna um material bom condutor elétrico é a grande quantidade de elétrons livres que ele apresenta à temperatura ambiente. Os isolantes elétricos são separados de acordo com a tensão de que se quer fazer o isolamento. Um pedaço de madeira, por exemplo, só pode ser considerado isolante até uma determinada classe de tensão. Se essa tensão for elevada a determinados níveis, a madeira, por exemplo, pode se tornar um condutor de eletricidade (Ibidem).

### 4.3 PROPRIEDADE TÉRMICA DOS MATERIAIS

#### 4.3.1 Mecanismos da Transferência do Calor

Quando existe uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta tende a desaparecer espontaneamente pela passagem de calor de uma região para outra (COSTA, 1974).

Ao conjunto de fenômenos que caracterizam essa passagem de calor é dado o nome de transmissão de calor, a qual pode efetuar-se de três maneiras distintas: condução, convecção e radiação. Todas com a seguinte característica: necessidade de uma diferença de temperatura entre duas regiões, com o fluxo térmico sempre no sentido das temperaturas decrescentes (Ibidem).

#### 4.3.2 Condução

É necessário conhecer os coeficientes dos materiais isolantes para determinar a espessura de parede a ser prevista, ou também as perdas de calor que podem ocorrer através de um determinado tipo de isolante (COSTA, 1974). Desta forma é possível utilizar os seguintes métodos:

##### a) Ensaios em regime permanente

De acordo com Costa (1974), uma das faces do corpo é colocada em contato com uma fonte de calor e a outra, com uma fonte fria. Com temperaturas uniformes e constantes, as faces são atravessadas por um fluxo de calor uniforme que penetra no corpo pela face quente saindo pela face fria. O fluxo de calor pode ser medido de duas formas:

1. Pela face fria, conduzindo o fluxo para um calorímetro que mede a quantidade de calor transmitida em um dado tempo;
2. Através do fluxo fornecido por uma fonte quente, determinando a quantidade de calor cedida. Este caso é produzido por uma resistência elétrica percorrida por uma corrente.

Para medidas da condutividade térmica é comum o uso de formas geométricas, sendo placas planas, esfera oca ou cilindro oco, as mais comuns. Todas as peças que são medidas possuem dimensões finitas, não sendo importante ocorrerem perdas de calor pelas bordas das placas (TIPLER /1, 1984).

#### b) Método da placa (método de Poengsen)

Aplicado em corpos que possuem uma superfície plana, como matérias fibrosas, granuladas e pulverulentas. Este elemento de medida é formado por placas aquecidas eletricamente. Sobre as suas faces coloca-se o material de ensaio cujo  $K$  (condutividade térmica) precisa ser medido. O material será recoberto por placas refrigeradas por água (COSTA, 1974).

#### c) Regime variável

Estuda os fenômenos térmicos que se produzem entre o momento que aparecem as causas térmicas e aquele em que é atingido o equilíbrio térmico.

### 4.3.3 Convecção

Quando um líquido ou um gás está em contato com um corpo sólido, fica fácil demonstrar a presença de uma película fluida aderida e relativamente estacionária sobre a superfície do sólido. Esta película torna-se cada vez mais fina à

medida que cresce a velocidade do fluido paralelamente à superfície, e não se separa da mesma senão sob velocidades muito elevadas (COSTA, 1974).

O calor só pode atravessar por condução, se bem que, quando as partículas estão aquecidas, podem ser arrastadas mecanicamente pelo movimento da massa principal. Assim, a transmissão do calor acontece por convecção em superfícies de contato (película) entre um fluido e um sólido, que é acompanhada de uma elevada queda de temperatura na região (TIPLER /1, 1984).

#### 4.3.4 Radiação de Calor

Um corpo quente com diferentes temperaturas, diante do zero absoluto, cede sempre o seu calor em forma de energia radiante, que é propagada em todas as direções. Se a energia emitida por um corpo, sob a forma de calor, entrar em contato com outro corpo na forma sólida ou líquida, uma quantidade da energia recebida é refletida para o espaço (COSTA, 1974).

#### 4.3.5 Materiais Isolantes Térmicos

O coeficiente de condutibilidade é uma propriedade dos corpos que depende essencialmente de seu estado físico. Geralmente, diminui na ordem sólido-líquido-gasoso, sendo seus valores limites de 360 kcal/m.h.°C para a prata e 0,02 kcal/m.h.°C para o ar puro, ou seja, a prata tem alta e o ar baixa condutividade térmica. Também, pode variar com a natureza do corpo, com a composição, com a pureza, com a temperatura, com a densidade, com o conteúdo de umidade, com a homogeneidade, entre outros. Para os corpos higroscópicos, o coeficiente de



condutividade térmica cresce com o aumento da porcentagem de umidade (COSTA, 1974).

Um material, para ser considerado bom isolante térmico, deve apresentar características básicas como: baixo coeficiente de condutividade térmica ( $K$  – até  $0,030 \text{ kcal/m.h.}^\circ\text{C}$ ); boa resistência mecânica; baixa densidade; incombustibilidade ou autoextinguibilidade; facilidade de aplicação; resistência ao ataque de roedores, de insetos e de fungos; baixa higroscopicidade; e ausência de odor. Porém, a reunião de todas essas características em um mesmo material é praticamente impossível de se conseguir (TORREIRA, 1980).

A tabela 3 apresenta alguns materiais e média de suas respectivas condutividades térmicas.

TABELA 3 – MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS

	Material	kcal/m $^\circ\text{C}$ h
Isolantes	Poliuretano expandido	0,022
	Ar	0,026
	Lã de rocha	0,024
	Poliestireno expandido	0,029
	Lã de vidro	0,03
	Borracha esponjosa	0,03
	EsPURma de Uréia - Formol	0,033
	Plástico esponjoso	0,035
	Cortiça	0,037
	Eucatex isolante	0,043
	Madeira balsa	0,046
	Serragem	0,06
	Pinho branco	0,11
	Água	0,6
	Vidro	0,65
	Aço	46
	Ferro PURo	57
	Alumínio	174
	Cobre	335
	Prata	360

FONTE: Adaptado de Costa (1974) e Tripler/ 1 (1984)

O poliuretano (PUR), utilizado como isolante térmico nos refrigeradores da “linha branca”, é um produto com condutividade  $0,022 \text{ kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ . A chapa de aço, também utilizada nos gabinetes dos produtos da “linha branca”, apresenta índice de condutividade térmica de  $46 \text{ kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ . A uréia-formol e a serragem de madeira, que são propostas de utilização nesta pesquisa, apresentam condutividade de  $0,033 \text{ kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$  e  $0,06 \text{ kcal/m.h.}^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Considera-se a serragem sem umidade (COSTA, 1974).

A madeira, desde que não esteja úmida, é má condutora de calor. Os resíduos e a serragem de madeira também possuem as características de baixa condutividade térmica. Porém, estes são suscetíveis a maior absorção da umidade do que a madeira em sua forma bruta. Estes já foram bastante utilizados, e ainda são em alguns casos, como “recheios” de paredes de câmaras frigoríficas (TORREIRA, 1980).

Os resíduos em geral (incluindo serragem) possuem um elevado poder de isolamento térmico, mas é necessário que estejam secos, pois, úmidos, transmitem calor muito mais rapidamente, além do que podem fermentar e se decompor, oferecendo um ambiente propício para insetos (Ibidem).

Um dos exemplos de aplicação de fibra de madeira é a chapa dura (marca registrada Eucatex), que é uma chapa de fibra de madeira (eucalipto), de característica leve, com bom poder de isolamento, resistente à compressão, de baixa densidade ( $200 \text{ kg/m}^3$ ), com baixa retenção de água, imune a vermes e apodrecimento e sem cheiro (Ibidem).

De acordo com Torreira (1980), a matéria base da uréia-formol é uma resina obtida por condensação da uréia com uma solução aquosa de formol e consequente eliminação de água. As espumas de uréia-formol são espumas rígidas,

que têm 98% de células abertas, sendo permeáveis ao ar. O coeficiente de condutividade térmica a 20°C varia de 0,030 kcal/m .h.°C a 0,036 kcal/m.h.°C.

A resina uréia-formol está entre os materiais isolantes. Porém, possui limitações como:

- a. Estrutura termorrígida – semelhante a dos poliuretanos, que depois de utilizados são infusíveis;
- b. Baixa durabilidade – sobretudo em ambiente úmido –;
- c. Emissão de formol para a atmosfera.

Deste último aspecto, relacionado a restrições ambientais impostas por novas normas européias, resulta o controle rigoroso da emissão de formol na aplicação destas resinas nos vários produtos, por ser prejudicial à saúde (CRUZ, 2006).

Em geral, os polímeros apresentam condutividade térmica cerca de 1.000 vezes menor que a dos metais. Logo, são altamente recomendados em aplicações que requeiram isolamento térmico, particularmente na forma de espumas, pois a ausência de elétrons livres dificulta a condução de calor nos polímeros (GORNI, 2010).

#### 4.3.6 Isolantes Térmicos na “Linha Branca”

Os refrigeradores e congeladores de uso doméstico são compostos por gabinetes isolados termicamente e de um sistema de refrigeração. O material isolante elétrico mais utilizado nestes produtos é o poliuretano – PUR, que possui agente expensor de baixa condutividade, proporcionando excelentes condições de

isolamento térmico, devido à baixa densidade e à estrutura de células pequenas que o compõem (BOLSONI, 2008).

Porém, a espuma rígida de poliuretano, produto derivado do petróleo, é um componente do refrigerador que não é reciclado sendo, normalmente, destinado a aterros. Apresenta baixa densidade (média de  $40 \text{ kg/m}^3$ ), o que representa um elevado custo de disposição se comparado à mesma quantidade em massa de outros materiais. A espuma também é altamente estável, não se degradando com facilidade (Ibidem).

Por outro lado, a espuma rígida, durante o processamento, atravessa uma fase adesiva, que resulta em uma ligação firme e permanente com o gabinete externo de chapa de aço e interno de poliestireno. Desta forma, uma estrutura com elevado grau de resistência mecânica é formada, o que tornou dispensável o requisito do gabinete ser estruturado, reduzindo a quantidade de aço empregado na sua fabricação (Ibidem).

Os poliuretanos são inflamáveis e para minimizar este efeito são aplicados retardantes de chama. As espumas rígidas de poliuretano são materiais termorrígidos (estrutura macromolecular altamente reticulada), de baixa densidade e células fechadas, o que torna o material impermeável à água (ALIMENA, 2009).

Com o conhecimento das propriedades mecânicas, elétricas e térmicas dos materiais, é possível afirmar que o compósito, seguindo as densidades e tempo de prensagem estipuladas nas propriedades mecânicas, possui resistência adequada para ser aplicado em gabinetes de eletrodomésticos. Em termos de isolamento elétrico e térmico, por ser composto por partículas de madeira e resina plástica, é possível concluir que possui isolamento térmico e elétrico, porém, este fato, apenas se confirmará com os ensaios laboratoriais.

## 5. O CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS

Todo produto causa impacto sobre o meio ambiente. Esse impacto pode ocorrer durante a extração das matérias-primas, utilizadas no processo de fabricação do produto, no próprio processo produtivo, na sua distribuição, no seu uso, ou na sua disposição final (ACV, 2010).

Segundo a norma brasileira ABNT ISO 14.001, Impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização.

A técnica do ciclo de vida envolve o desempenho de materiais para ser avaliada durante seu ciclo de vida inteiro, incluindo extração e processamento dos recursos, manufatura, distribuição, uso, reciclagem e o despojo final (BOVEA; VIDAL, 2003).

### 5.1 IDENTIFICAÇÃO DAS FASES DO CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS

Manzini; Vezzoli (2002) colocam o conceito de ciclo de vida de um produto referindo-se as trocas input e output entre o ambiente e o conjunto dos processos que acompanham o nascimento, vida e a morte de um produto.

Este processo vem normalmente nas seguintes fases:

- a. Pré-produção;
- b. Produção;
- c. Distribuição;
- d. Uso;
- e. Descarte.

Entre estas etapas tem-se (ACV, 2010):

- a. Produção de energia;
- b. Os processos que envolvem a manufatura;
- c. Questões relacionadas com as embalagens;
- d. Transporte;
- e. Consumo de energia não renovável;
- f. Impactos relacionados com o uso, ou aproveitamento;
- g. Reuso do produto ou mesmo questões relacionadas com o lixo ou recuperação / reciclagem.

A redução dos impactos ambientais deve ser estudada não apenas na fase do uso do produto, mas também no desenvolvimento e fabricação deste. Dessa forma, a ferramenta da Avaliação de Ciclo de Vida pode ser de grande utilidade para (Ibidem):

- a. O desenvolvimento de produtos;
- b. A escolha de tecnologias;
- c. Identificação da fase do Ciclo de Vida em que os impactos ocorrem;
- d. Seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação de projetos e reformulação de produtos ou processo.

Outro aspecto importante é a otimização da vida dos produtos, sendo necessário projetar produtos que perdurem, e quanto a extensão da vida dos materiais é preciso valorizar os materiais descartados e tentar coloca-los novamente na produção (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

De acordo com estes critérios a minimização dos recursos naturais diz respeito a minimizar o conteúdo material de um produto, as perdas e refugos, o

consumo de energia para produção e o consumo de recursos no desenvolvimento destes produtos (Ibidem).

Segundo Chaves (2003), a inserção de parâmetros ambientais no planejamento de produtos traz como benefício a solução antecipada de possíveis danos ao meio ambiente, sendo uma ação preventiva. As discussões para esta inserção são amplas e precisam ser consideradas no planejamento de um produto com menor impacto ambiental.

Em termos gerais, uma Avaliação do Ciclo de Vida do produto ou serviço consiste da definição do seu objetivo e escopo, da realização de um levantamento quantificado de dados – inventário –, de todas as entradas – materiais, energia e recursos –, e saídas – produtos, subprodutos, emissões, entre outros –, durante todo o ciclo de vida, com identificação dos impactos ambientais potenciais e da interpretação dos resultados do estudo (ACV, 2010).

## 5.2 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A técnica da Avaliação do Ciclo de Vida tem limitações que devem ser consideradas tanto na elaboração dos estudos quanto no uso dos seus resultados. Métodos como o Ecoindicador 99, podem ser utilizados em uma metodologia de avaliação de impacto ambiental, pois transformam os dados coletados, do produto a ser fabricado, em escores de danos ambientais. Quanto maior o indicador, maior impacto ambiental (ECOINDICATOR, 1999).

Existem *softwares*, como o *Simapro*, que, utilizando a base Ecoindicador, permitem uma análise deste ciclo de vida através da identificação dos impactos causados pelo produto, baseado na quantidade de materiais, na energia e nos

processos de fabricação empregados no ciclo de vida do produto (RAMOS, 2001).

Os impactos ambientais analisados pelo *Simapro* são:

- a. Cancerígenos: este item analisa as substâncias que causam danos causados à saúde humana. Neste caso, os danos são os diversos tipos de câncer, devido à exposição à alta concentração de emissão destas substâncias no meio ambiente, através do ar, da água, do solo urbano ou do solo industrial (GOEDKOOOP; SPRIESMA, 2001);
- b. Respiratórios (orgânicos) e Respiratórios (inorgânicos): analisa os danos ao sistema respiratório humano, causados através do ar poluído. Algumas das substâncias analisadas compõem o grupo dos Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs), que apresentam características mutagênicas e carcinogênicas (Ibidem);
- c. Mudanças climáticas: o planeta Terra tem apresentado alteração no seu clima, tornando-se mais quente. A utilização crescente de carbono, em forma de carvão mineral, petróleo e gás natural para gerar energia, além de contribuir para a derrubada de florestas, provocam o despejo de grandes quantidades de dióxido de carbono, metano e outros gases na atmosfera, intensificando o efeito estufa (GREENPEACE, 2008);
- d. Radiação: Radiação também causa danos à saúde humana pela descarga de radiação ionizante, provocando alteração na estrutura celular de organismos vivos, que aumenta a incidência de câncer de pele e queimaduras solares (HINRICHS, KLEINBACH, 2004);
- e. Camada de Ozônio: está presente na atmosfera da terra fornecendo proteção da radiação solar UV. A destruição da



camada de ozônio contribui para a ocorrência de câncer de pele, danos nas colheitas e na cadeia alimentar marinha (Ibidem);

- f. Toxidade: causada por algumas substâncias pode ocasionar danos ao ecossistema, até o desaparecimento de determinadas espécies (GOEDKOOOP; SPRIESMA, 2001);
- g. Acidificação / Eutrofização: referem-se às alterações nos níveis de nutrientes ou acidez do solo (Ibidem);
- h. Uso do solo: Considera-se o efeito local da ocupação do solo, o efeito local da conversão do solo, o efeito regional de ocupação do solo e o efeito regional de conversão do solo (Ibidem);
- i. Minerais: o impacto é causado pela redução de minerais e pela redução de combustíveis fósseis. Estes danos são calculados utilizando-se o conceito de excedente de energia, ou seja, a diferença entre a energia necessária atualmente para extrair-se um recurso e a energia necessária no futuro (Ibidem);
- j. Combustíveis Fósseis: material fóssil formado há milhões de anos, como o carvão, gás e petróleo, sendo recursos naturais não-renováveis. A sua queima produz, entre outros componentes, o dióxido de carbono, que acelera o aquecimento global (HINRICHS, KLEINBACH, 2004).

### 5.3 TINTAS E ACABAMENTOS

Garantir produtos e processos químicos mais seguros e ambientalmente limpos representa uma tendência em crescimento no setor de tintas nacional. Para isso, indústrias e fornecedores têm investido em técnicas que permitam obter produtos com impacto ambiental minimizado, redução do uso de energia e de água,

produção mais eficiente, com geração de menos resíduos, prevenção de poluição e redução da emissão de compostos orgânicos voláteis (VOC) (GIULIO, 2007).

De modo geral, a tinta pode ser considerada como uma mistura estável de uma parte sólida (que forma a película aderente à superfície a ser pintada) em um componente volátil (água ou solventes orgânicos). Uma terceira parte, denominada “aditivos”, embora representando uma pequena percentagem da composição, é responsável pela obtenção de propriedades importantes tanto nas tintas quanto no revestimento (TINTAS E VERNIZES, 2006).

Além da grande quantidade de energia elétrica e da água utilizada nos processos de fabricação das tintas, há ainda a geração de resíduos, tais como borras oleosas e a grande variedade e quantidade de matérias-primas e produtos auxiliares empregados no setor de tintas e vernizes (Ibidem). São exemplos:

- a. Resinas;
- b. Pigmentos e cargas;
- c. Solventes;
- d. Aditivos.

Várias destas matérias-primas possuem propriedades tóxicas, irritantes e corrosivas, o que torna essencial o conhecimento de seus efeitos potenciais sobre a saúde humana e o meio ambiente, assim como sobre os procedimentos emergenciais em caso de derramamentos acidentais, contaminações e intoxicações (Ibidem).

Os principais impactos ambientais do setor podem estar associados tanto ao processo produtivo, como à geração de efluentes, ao próprio uso dos produtos ou mesmo à geração de resíduos de embalagem pós-uso (Ibidem).

Outro efeito nocivo ao meio ambiente é a emissão de compostos orgânicos voláteis, resultantes de diversos processos de fabricação. Alguns poluentes existentes nas tintas também são responsáveis por impactos ambientais e efeitos adversos associados (Ibidem), como:

- a. A pequena solubilidade dos óleos e graxas – que prejudica sua degradação em estações de tratamento de efluentes por processos biológicos, que, quando presentes em mananciais utilizados para abastecimento público, podem causar problemas no tratamento de água;
- b. Os pigmentos que contêm metais pesados devem, se possível, ser excluídos do processo de fabricação;
- c. Os solventes, que são tóxicos e tendem a contribuir para a contaminação do solo caso sejam manipulados de forma inadequada, podendo causar desequilíbrio do pH se lançados em corpos de água.

Unindo a responsabilidade ambiental ao compromisso de qualidade de seus produtos, é possível encontrar linha de tintas e vernizes à base d'água. A ausência de solventes em sua composição proporciona muitas melhorias aos produtos, como: baixíssimo odor, secagem rápida, facilidade de aplicação, alto rendimento e um cuidado maior com a saúde do usuário (SAYERLACK, 2010).

Esses produtos, denominados genericamente de produtos látex, são baseados em dispersões aquosas poliméricas (emulsões) tais como: vínicas, vinil-acrílicas, acrílicas, estireno-acrílicas, entre outros. A parte volátil das tintas látex é constituída por 98% de água e 2% de compostos orgânicos – valores médios – (TINTAS E VERNIZES, 2006).

#### 5.4 IDENTIFICAÇÃO DO IMPACTO E PROJETO CONSCIENTE

Portanto, identificar a fase do ciclo de vida na qual o produto causa os maiores impactos, permite atuar sobre esses, ainda durante o projeto, o que aumenta as possibilidades de sucesso em soluções para a melhoria do desempenho ambiental do produto (RAMOS, 2001).

O conhecimento dos impactos ambientais dos materiais e processos, utilizados em um setor industrial específico, é um fator chave para permitir a melhoria dos produtos de uma perspectiva ambiental, e facilitar a sua introdução dentro do mercado crescente de produtos com menor impacto. (BOVEA; VIDAL, 2003).

Na conclusão do processo de desenvolvimento é válido estudar o ciclo de fabricação, do uso e o descarte do produto a ser projetado, assim como deve-se pensar em uso adequado da seleção de materiais e processos para que a quantidade de danos ao meio ambiente e os gastos de energia sejam baixos (MATOS, SIMPLÍCIO, 2004).

A chave para um desenvolvimento de produtos é a aproximação do princípio do ciclo de vida, pois gera uma visão holística do produto e contribui para reduzir o completo impacto do meio ambiente (SHERWIN, 2004)

Os produtos são compostos por vários tipos de materiais. Os materiais como fontes primárias – e como componentes do produto como um todo – determinam várias formas de impacto. Durante a fase de extração dos recursos naturais para produzir os materiais (pré-produção), são consumidas energias e matérias-primas que determinam várias emissões (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Após o produto ser fabricado, existem as fases de embalagem e distribuição, que também causam impactos ambientais. Além disso, os impactos ambientais ocorrem frequentemente durante o uso dos mesmos, porque o produto ocasiona consumo de energia ou de material. Para ser possível avaliar os danos ambientais de um produto, todas as fases do ciclo de vida devem ser estudadas (ECOINDICATOR, 1999).

Entre processos com maiores indicadores de impacto estão os que envolvem a utilização de petróleo, gás, ou determinados minerais. Também obtém maior valor processos de produção agrícola, devido ao uso da terra, e produtos com grande volume, como é o caso do poliuretano (Ibidem).

No processo de fabricação do plástico, por exemplo, todos os processos estão incluídos desde a extração do óleo, até a produção dos grânulos. E no caso da chapa de aço, são analisados os processos a partir da extração do minério, até o processo de laminação (Ibidem).

Outros processos, como do transporte – inclui o impacto das emissões causadas pela extração e produção de combustível e geração de energia proveniente de combustível durante o transporte –, da energia – refere-se à energia da extração e produção de combustíveis, e à conversão de energia e geração de eletricidade – e de reciclagem, podem causar uma carga ambiental como todos os outros processos (Ibidem).

Este último processo, de reciclagem, pode resultar em produtos úteis, que podem ser interpretados como um ganho ambiental, ao evitar a utilização de materiais novos, além de utilizar um menor consumo de energia. Porém, deve-se verificar a pureza dos materiais utilizados, assim como a qualidade dos materiais de saída (Ibidem).

A tabela 4, apresenta alguns materiais e seus respectivos impactos ambientais, de acordo com o Ecoindicator (1999).

TABELA 4 – MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS

Descrição do Indicador (metal e não metais)	(milipontos / kg)
Ferro fundido de ferro (compostos de carbono > 2%)	240
Aço (contendo apenas material de aço primário)	94
Aço (contendo apenas material de sucata, secundário)	24
Aço (contendo 80% de ferro primário, sucata de 20%)	86
Aço de alta liga (71% de ferro primário, 16% Cr, 13% Ni)	910
Aço de baixa liga (93% de ferro primário, 5% sucata e 1% de liga de metais)	110
Alumínio Reciclado 100% (apenas materiais secundários)	160
Alumínio Reciclado 0% (apenas material primário)	780
Nickel enriquecido (apenas material primário)	5200
Zinco (apenas material primário)	3.200
PEHD	330
PELD	360
PP	330
PS (EPS) expansível	360
PUR (usado na “linha branca”, isolamento e materiais de construção)	420
Wood (madeira maciça)	6,6

FONTE: Ecoindicator (1999)

Considerando os materiais utilizados em gabinetes de eletrodomésticos “linha branca”, de acordo com a tabela 4, a chapa de aço é considerada impactante, principalmente se o aço for de alta liga, que utiliza média de 71% de ferro primário, com adicionais de Cromo e de Níquel.

A chapa de aço pré-pintada, utilizada na “linha branca”, possui tratamento com zinco, sendo chamada de chapa pré-pintada zincada (CSN, 2009). Este fator aumenta o impacto da chapa, pois o zinco é um material impactante.

Outro material utilizado na fabricação de alguns produtos da “linha branca”, que possui considerável nível de impacto, é o poliuretano (PUR), apresentando índice de 420 milipontos por kg de material. Este fato ocorre devido ao seu grande volume e seu baixo peso (ECOINDICATOR, 1999).

Produtos originados do petróleo, como é o caso do plástico, também apresentam razoável impacto ambiental, pois utiliza fontes naturais para retirada do produto. A madeira possui um baixo impacto ambiental, desde que seja de reflorestamento e certificada.

Crescente atenção científica e tecnológica vem sendo despendida aos estudos e à utilização de novos materiais. O profundo conhecimento das propriedades e a previsibilidade dos comportamentos dos materiais permitem identificar quando e como os materiais podem ser utilizados racionalmente, para responder de modo adequado a determinadas exigências comportamentais (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

O material a ser aplicado pode ser tradicional ou pouco utilizado, e no caso do uso de novos materiais, é necessário analisar as propriedades do material a ser utilizado e o processo de fabricação para ele (PETUTSCHNIGG, EBNER, 2005).

## 5.5 PROPOSTA CONCEITUAL DE APLICAÇÃO DE COMPÓSITO NA “LINHA BRANCA”

Na busca de materiais menos impactantes, para aplicação em gabinetes de eletrodomésticos “linha branca”, e tendo como base as propriedades de absorção de água e inchamento, térmica e elétrica do compósito madeira/plástico, esta pesquisa examina uma proposta conceitual de aplicação de compósito em um produto da “linha branca” – adega para vinhos – ofertada atualmente no mercado com chapa de aço em seu gabinete, e com formas retas (figura 43).

A proposta será de um produto com formas curvas, com diminuição de moldes na fabricação e que possibilite a modularização. O processo produtivo a ser empregado é a moldagem por compressão a quente.



FIGURA 43 – ADEGA  
FONTE: Brastemp (2009)

O objetivo desta proposta conceitual é desenvolver um produto para comprovar as possibilidades de aplicação do material pesquisado, sem pretensão de fornecer o desenvolvimento de um produto real, não sendo, desta forma, apresentada uma metodologia projetual completa para execução do projeto.



## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia adotada nesta pesquisa, de acordo com o esquema conceitual apresentado na

figura 44, é composta por quatro fases: 1. experimento (compressão de chapas); 2. principal (ensaios exploratórios – empíricos e laboratoriais); 3. estudos complementares; e 4. conclusões e resultados.

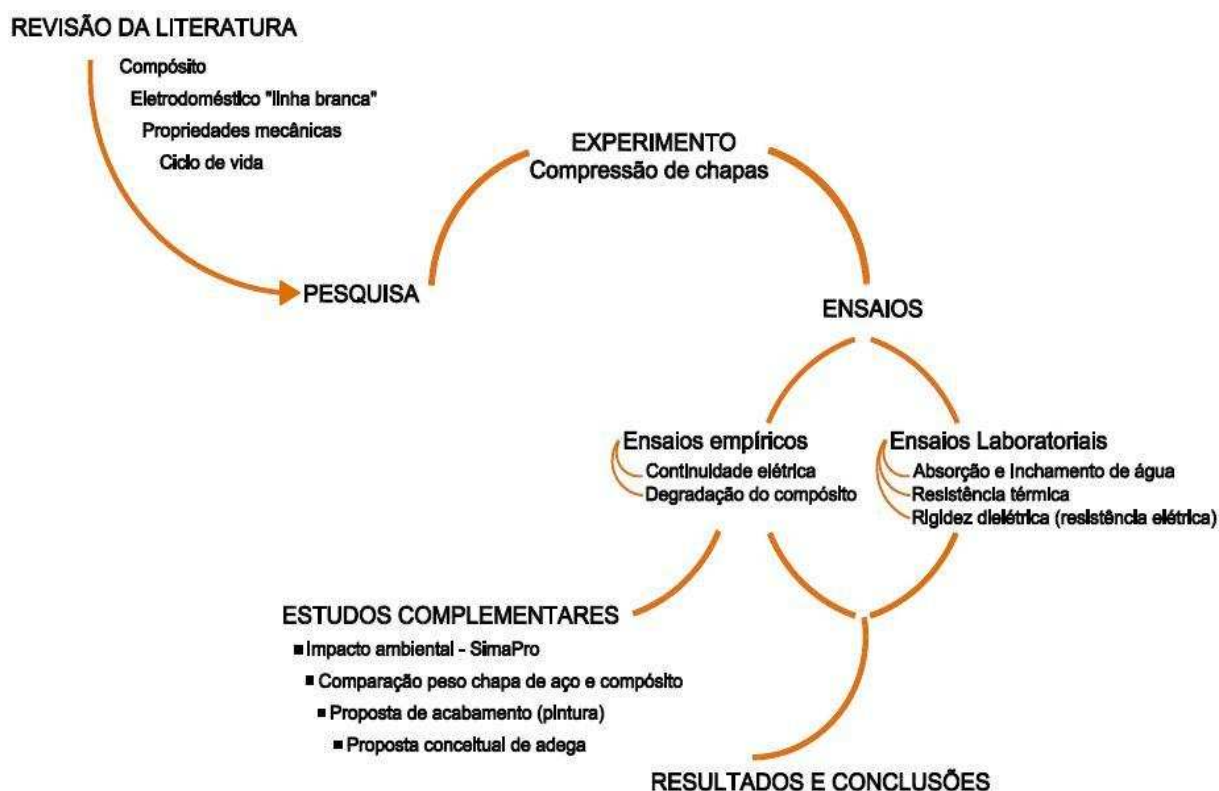


FIGURA 44 – FASES DA PESQUISA

A pesquisa parte de experimentos já encontrados em Razera (2006), sendo pesquisados parâmetros para o processo de fabricação de produtos moldados, quanto à composição do material, configuração de peças, forma dos moldes, e ensaios de resistências mecânicas.

A partir desses estudos, na fase de ensaios, serão analisados:

- a. Densidade dos compósitos;
- b. Absorção de água e inchamento;
- c. Resistência térmica;
- d. Rigidez dielétrica (resistência elétrica);
- e. Estudos de da comparação do impacto ambiental do produto, através do programa *Simapro*, para análise do ciclo de vida;
- f. Comparação peso do compósito e da chapa de aço pré-pintada;
- g. Amostras de compósitos, densidade 0,7 g/cm<sup>3</sup> e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, com acabamento em verniz poliuretano (PUR) e esmalte sintético branco (ambos com selador), e também com verniz à base de água e esmalte branco à base de água, para verificar possíveis acabamentos para o compósito;
- h. Proposta conceitual de eletrodoméstico “linha branca” (adeaga) contemplando o uso de compósito em seu gabinete.

## 6.2 PESQUISA EXPERIMENTAL

### 6.2.1 Características das Placas

Para a fabricação das amostras do compósito foram utilizados os seguintes materiais:

- a. Partículas homogêneas: “farinha de madeira”, espécie *pinus spp.*, com granulometria controlada, tendo como referência o código 2042, na empresa Inbrasfama;
- b. Resina (adesivo): Melamina-uréia-formaldeído (MUF);
- c. Catalisador.

Com as seguintes características:

- a. Densidade nominal : 0,7 g/cm<sup>3</sup> e 0,9 g/cm<sup>3</sup>;
- b. Processo de produção: compressão a quente;
- c. Tempo de prensagem: dez minutos;
- d. Temperatura de prensagem: 130°C (MUF);
- e. Dimensões das chapas fabricadas: 500 x 500 x 5 mm.

## 6.2.2 Caracterização dos Materiais

### 6.2.2.1 Partículas de madeira

Foram utilizadas partículas homogêneas de madeira de *pinus spp* com granulometria controlada, referência 2042, sendo procedentes da empresa Inbrasfama - Ind. Brasileira de Farinha de Madeira Ltda., localizada na cidade de São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba, estado do Paraná, conforme figura 45. O material é produzido a partir de resíduos como serragens, cepilhos e aparas de madeiras.



FIGURA 45 – FARINHA DE MADEIRA

### 6.2.2.2 Resinas

A resina utilizada foi a resina termorrígida melamina-uréia-formaldeído (MUF), contendo 65-67% de sólidos resinosos, com média emissão de formol. As resinas foram doadas pela empresa GPC Química, produzida na planta da cidade de Gravataí-RS.

#### 6.2.2.3 Catalisador

Foi utilizado catalisador para acelerar a reação de secagem da resina.

#### 6.2.2.4 Impermeabilizante

O impermeabilizante utilizado, marca Farbem, foi aplicado em amostras de compósito que foram submetidas ao ensaio de absorção de água e inchamento.

#### 6.2.3 Processo de Produção Utilizado

Para esta pesquisa utilizou-se como processo de produção a compressão a quente, com temperaturas solicitadas nas especificações técnicas para cura dos polímeros.

#### 6.2.4 Ensaio

Na fabricação do compósito madeira/plástico foram utilizados índices de 80% de madeira e 20% de resina – porcentagem de 12% de melamina –; tempo de prensagem de dez minutos, e temperaturas de 130°. As densidades pretendidas foram de 0,7 g/cm<sup>3</sup> e 0,9 g/cm<sup>3</sup>. Os ensaios realizados:

- a. Ensaios de densidade, absorção água e inchamento, norma ABNT 14810-3 – Chapas de madeira aglomerada, realizados no Laboratório de Painéis de Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal - DETF do Curso de Engenharia Industrial Madeireira da UFPR;
- b. Ensaios térmicos, norma ABNT 11506, referente a isolamento térmico, desenvolvidos pela empresa Whirlpool, localizada na cidade de Joinville;
- c. Ensaios empíricos de continuidade elétrica, realizado na Companhia Paranaense de Energia (COPEL);
- d. Ensaios de rigidez dielétrica – resistência elétrica —, ASTM D 257, desenvolvidos no Laboratório de ensaios elétricos e de análises de equipamentos da Companhia Paranaense de Energia (COPEL);
- e. Ensaio de degradação do material em contato com o meio ambiente, que foi realizado através da exposição do material no meio.

#### 6.2.5 Metodologia de Fabricação dos Produtos

Foram fabricadas chapas de compósitos no laboratório da UFPR para retirada de corpos-de-prova utilizados nos ensaios.

##### 6.2.5.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental (tabela 5) estabelecido para esta fase da pesquisa é constituído pela combinação de fatores que foram utilizados para realização dos ensaios como: quantidade de partículas de madeira espécie *Pinus*; nível de resina MUF, porcentagem de catalisador; temperatura; densidades e

dimensões das amostras que foram ensaiadas de acordo com características fixas do compósito fabricado. Desta forma, foram delineados 10 ensaios para experimento laboratoriais

TABELA 5 – DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

VARIÁVEIS	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9	Ensaio 10
Espessura Compósito	5mm		5mm		5mm			5mm		
Densidade da madeira	0,7g/cm³	0,9 g/cm³	0,7g/cm³	0,9 g/cm³	0,7g/cm³	0,9 g/cm³	0,9 g/cm³	0,7g/cm³	0,9 g/cm³	0,9 g/cm³
Resina (MUF)	20%		20%		20%			20%		
Catalisador	2%		2%		2%			2%		
Temperatura	130°		130°		130°			130°		
Dimensões placas (mm)	200x200		100X100		25x25			25x25		
Quantidade	10		10		10			10		
Umidade	Não	Não	Não/ Sim	Não/ Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pintura	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim

#### 6.2.5.2 Quantificação dos componentes das chapas

Os procedimentos para quantificação dos componentes utilizados para a fabricação das chapas estão descritos a seguir e as porcentagens de materiais, necessários para a fabricação das chapas, estão demonstrados na tabela 6. A porcentagem ultrapassa 100% de material por estar sendo contabilizada neste somatório a quantidade de água (umidade da madeira e água proveniente da resina) que será evaporada durante o processo de compressão.

TABELA 6 – CONSTITUIÇÃO DE CADA PAINEL

Farinha de madeira	100%
Resina	20%
Catalisador	2%
Umidade (água)	12%
Total de produtos	135%

### 6.2.5.3 Massa de partículas

Para se obter a massa de partículas necessária para cada chapa, com 12% de umidade, realizaram-se os seguintes cálculos:

- Massa de partículas a 12% de umidade (g), denominada de (M).
- Densidade da chapa a 12% de umidade (g/cm<sup>3</sup>) denominada (D).
- Volume da chapa (cm<sup>3</sup>) denominada (V).
- Massa: a densidade x o volume ( $M = D \times V$ )
- Peso da peça, após acondicionamento a  $\pm 19-20^{\circ}\text{C}$  e  $\pm 60\%$  UR, ( $P = D \times V$ )
- Sendo 135 partes correspondentes a M (peso da chapa a 12% de umidade), tem-se:

$$M\emptyset = \frac{M \times 100}{135}, \text{ onde } M\emptyset \text{ é a massa de partículas final(g).}$$

### 6.2.5.4 Quantidade de adesivo

As quantidades de adesivo (sólido resinoso), estabelecidas na pesquisa, foi 20% sobre o peso de partículas secas. Para 20% de adesivo tem-se:

$$AS = M\emptyset \times 20 / 100, \text{ onde (AS) é a quantidade de adesivo na forma sólida (g).}$$

Como os adesivos normalmente são utilizados na forma líquida, e durante a compressão a parte líquida evapora, fez-se necessária a transformação do adesivo da forma sólida para a líquida:

$$AL = AS \times 100 / TS, \text{ onde (AL) é o adesivo na forma líquida (g), e (TS) se refere ao teor de sólidos do adesivo (\%).}$$

#### 6.2.5.5 Quantidade de catalisador

A quantidade de catalisador utilizada varia de acordo com o tipo de adesivo e condições de prensagem. O cálculo do catalisador foi realizado sobre a quantidade de adesivo na forma sólida e líquida:

$$\begin{aligned} \text{CS} &= n / 100 \times \text{AS}, \text{ onde (CS) é a quantidade de catalisador sólido (g)} \\ &\text{e (n) é o percentual de catalisador requerido para o adesivo (\%).} \\ \text{CL} &= n / 100 \times \text{AL}, \text{ onde (CL) é a quantidade de catalisador líquido (g)} \\ &\text{e (n) é o percentual de catalisador requerido para o adesivo (\%).} \end{aligned}$$

#### 6.2.5.6 Quantidade de material para cada painel

a) Painéis com densidade 0,7 g/cm<sup>3</sup>

##### Farinha de madeira

$$M\emptyset = (M \times 100) / 135 \rightarrow M\emptyset = (875 \times 100) / 135 \rightarrow M\emptyset = 648,15 \text{ g (farinha)}$$

##### Resina MUF

$$\text{AS} = M\emptyset \times 20 / 100 \rightarrow \text{AS} = 648,15 \times 20 / 100 \rightarrow \text{AS} = 129,6 \text{ g}$$

Com o teor de sólido MUF de 65%:

$$\text{AL} = \text{AS} \times 100 / \text{TS} \rightarrow \text{AL} = 129,6 \times 100 / 65 \rightarrow \text{AL} = 199,4 \text{ g}$$

##### Catalisador

$$\text{CL} = n / 100 \times \text{AS} \rightarrow \text{CL} = 2 / 100 \times 129,6 \rightarrow \text{CL} = 2,6 \text{ g}$$



b) Painéis com densidade 0,9 g/cm<sup>3</sup>

#### Farinha de madeira

$$M\emptyset = (M \times 100) / 135 \rightarrow M\emptyset = (1125 \times 100) / 135 \rightarrow M\emptyset = 833,3 \text{ g (farinha)}$$

#### Resina MUF

$$AS = M\emptyset \times 20 / 100 \rightarrow AS = 833,3 \times 20 / 100 \rightarrow AS = 166,7 \text{ g}$$

Com o teor de sólido MUF de 65%:

$$AL = AS \times 100 / TS \rightarrow AL = 166,7 \times 100 / 65 \rightarrow AL = 256,5 \text{ g}$$

#### Catalisador

$$CL = n / 100 \times AS \rightarrow CL = 2 / 100 \times 166,7 \rightarrow CL = 3,3 \text{ g}$$

O resumo de massa e volume das chapas constam na tabela 7.

TABELA 7 – RESUMO DAS PLACAS

Densidade 0,7 g/cm <sup>3</sup>	Volume das placas (cm <sup>3</sup> )	50 x 50 x 0,5	→	1.250,0 cm <sup>3</sup>
	Densidade das placas (g/cm <sup>3</sup> )	0,7	→	0,7
	Peso total de cada placa	0,7 x 1.250,0	→	875 g
Densidade 0,9 g/cm <sup>3</sup>	Volume das placas (cm <sup>3</sup> )	50 x 50 x 0,5	→	1.250,0 cm <sup>3</sup>
	Densidade das placas (g/cm <sup>3</sup> )	0,9	→	0,9
	Peso total de cada placa	0,9 x 1.250,0	→	1.125,0 g

### 6.2.6 Fabricação das Chapas

#### 6.2.6.1 Preparação dos materiais

a) Partículas de madeira, resina MUF e catalisador

- a. As partículas (farinha de madeira), que já estavam com umidade em torno de 6%, foram pesadas em uma balança com precisão de 0,01 g, com as quantidades estabelecidas para densidades das chapas de 0,7 g/cm<sup>3</sup> e de 0,9 g/cm<sup>3</sup>;
- b. A resina, em quantidade pré-estabelecida para cada chapa, foi pesada em uma balança eletrônica com precisão de 0,001 g;
- c. A quantidade do catalisador líquido, determinado em função do sólido resinoso, foi adicionado à resina líquida.

b) Aplicação da Resina

A resina MUF, misturada ao catalisador, foi colocada em uma bureta, no sistema de aplicação da encoladeira<sup>6</sup>. A aspersão da resina nas partículas foi feita com uma pistola de ar comprimido, localizada no interior da encoladeira do tipo tambor rotatório (figura 46).



FIGURA 46 – ENCOLADEIRA TIPO TAMBOR ROTATÓRIO

---

<sup>6</sup> Encoladeira é a máquina tipo tambor rotatório que realiza a mistura de adesivo (líquido) na farinha de madeira.

### c) Formação do Colchão

As partículas de madeira, encoladas com o adesivo MUF, foram colocadas em uma caixa de molde com dimensões laterais internas de 500 x 500 mm (figura 47-a). Foi utilizado espaçador de 5 mm (para obtenção de placas com 5 mm de espessura<sup>7</sup>) (figura 47-b). Partículas encoladas de madeira foram colocadas entre duas chapas metálicas com espaçadores (figura 47-c e figura 47-d).



a) – PREPARAÇÃO DO COLCHÃO



b) – PREPARAÇÃO PARA PRENSA



c) – PREPARAÇÃO PARA PRENSA



d) – DETALHE COLCHÃO DE FARINHA

FIGURA 47 – FORMAÇÃO DO COLCHÃO

### d) Prensagem

<sup>7</sup> Esta espessura foi fixada com o objetivo de aplicar veios na peça e aumentar a resistência mecânica do gabinete

A prensagem das chapas encoladas, com adesivos para cura a quente, foi realizada em uma prensa piloto Siempelkamp, de pratos planos horizontais com aquecimento elétrico (figura 48).



FIGURA 48 – PRENSA PILOTO SIEMPELKAMP

O colchão de partículas é prensado, atingindo a espessura desejada após o tempo previsto (figura 49-a e b).



a) – COLCHÃO NA PRENSA



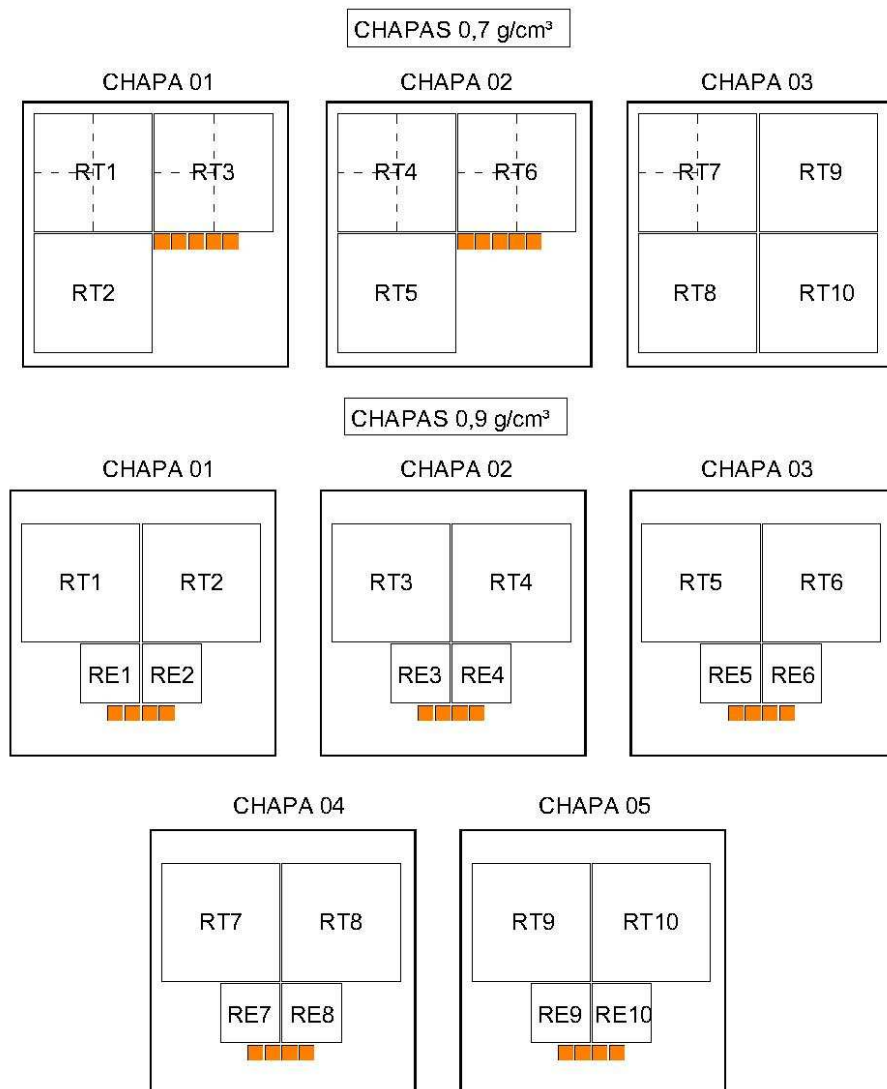
b) – CHAPA PRENSADA

FIGURA 49 – PRENSAGEM DAS CHAPAS

#### 6.2.7 Confeção dos Corpos-de-Prova

Após a prensagem, as chapas fabricadas foram identificadas segundo a ordem de fabricação e densidade, sendo esquadrejadas com dimensões de 450 x 450 mm. As chapas esquadrejadas foram acondicionadas por dez dias em câmara climatizada com temperatura de  $\pm 22^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa  $\pm 60\%$ , para cura.

Após este período, foram retirados os corpos-de-prova, para realização dos seguintes ensaios (figura 50):



LEGENDA: RT - Resistência térmica (200x200mm)  
 RE - Resistência elétrica (100x100mm)  
 ■ - Absorção e Inchamento (25x25mm)  
 □ - Chapas resistência elétrica (100x100mm) - aproveitamento

FIGURA 50 – DISTRIBUIÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA NAS CHAPAS

- Resistência térmica: dez corpos-de-prova, com as dimensões 200 x 200 mm, densidade 0,7 g/cm³ (norma ABNT 11506);
- Resistência térmica: dez corpos-de-prova, com as dimensões 200 x 200 mm, densidade 0,9 g/cm³ (norma ABNT 11506);

- c. Resistência elétrica: dez corpos-de-prova, com as dimensões 100 x 100 mm, densidade 0,7 g/cm<sup>3</sup> (norma ABNT 11506). Ensaio com os corpos-de-prova secos e úmidos;
- d. Resistência elétrica: dez corpos-de-prova, com as dimensões 100 x 100 mm, densidade 0,9 g/cm<sup>3</sup> (norma ABNT 11506). Ensaio com os corpos-de-prova secos e úmidos;
- e. Absorção de água e inchamento: dez corpos-de-prova, com as dimensões 25 x 25 mm, densidade 0,7 g/cm<sup>3</sup> (norma ABNT 14810-3);
- f. Absorção de água e inchamento: 20 corpos-de-prova, com as dimensões 25 x 25 mm, densidade 0,9 g/cm<sup>3</sup> (norma ABNT 14810-3). Ensaio com os corpos-de-prova sem impermeabilizante e com impermeabilizante (por serem realizados simultaneamente, não foi possível utilizar os mesmos corpos-de-prova para os dois ensaios).

### 6.3 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

#### 6.3.1 Ensaio de Densidade

O ensaio de densidade verificou a densidade de todos os corpos-de-prova fabricados, sendo efetuadas as medições dos comprimentos, larguras e espessura de cada amostra, assim como os seus pesos.

Foram utilizados os equipamentos: balança semianalítica – com precisão 0,01 g –, e micrômetro e paquímetro digital – ambos com precisão de 0,1 (figura 51).



FIGURA 51 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

A determinação da espessura, de acordo com a norma ABNT 14810-3, painéis aglomerados, deve ser obtida em quatro pontos das bordas dos corpos-de-prova, com distância de dez mm de cada lado, e um ponto no centro. Realizadas estas medições obteve-se a média dos cinco pontos, considerada como espessura final do corpo-de-prova.

### 6.3.2 Ensaios de Absorção de Água e de Inchamento

Para determinação da absorção de água e inchamento do compósito utilizou-se a norma NBR 14810-3 – painéis aglomerados De acordo a norma, é necessária a utilização de dez corpos-de-prova, com as dimensões de 25 x 25 mm, para cada ensaio.

Foram desenvolvidos trinta corpos-de-prova para este ensaio, sendo dez com densidade 0,7 g/cm<sup>3</sup>, dez com densidade 0,9 g/cm<sup>3</sup> e dez com densidade 0,9 g/cm<sup>3</sup> revestidos com impermeabilizante.

A aparelhagem necessária para execução deste ensaio: micrômetro com resolução de 0,01 mm; balança semianalítica com resolução de 0,1 g; recipiente com água destilada, com temperatura controlada termostaticamente; e dispositivo para manter o corpo-de-prova submerso no recipiente.



Após serem devidamente identificados, foi procedida a medição da espessura, com uma resolução de 0,01 mm, no centro de cada corpo-de-prova – a norma ABNT 14810-3 exige apenas a medição no centro de cada peça –, e da massa, determinada em balança semianalítica com resolução de 0,1 g.

Os corpos-de-prova foram acondicionados em copos becker, com água destilada e temperatura de aproximadamente 20°, e separados de acordo com suas propriedades (densidade e impermeabilização) (figura 52).



FIGURA 52 – ENSAIO ABSORÇÃO E INCHAMENTO

Após duas horas de imersão, foram retirados os corpos-de-prova do recipiente e removido o excesso de água. Então foi procedida uma nova medição da espessura, no centro de cada corpo-de-prova, e obtido um novo peso em balança semianalítica.

Após estas medições, os corpos-de-prova retornaram para os copos de becker, onde permaneceram por um período de 24 horas, sob as mesmas condições das primeiras duas horas.

Após as 24 horas de imersão, os corpos-de-prova foram retirados do recipiente sendo removido o excesso de água. Pela terceira vez obteve-se a espessura do centro de cada corpo-de-prova, assim como um novo peso em balança semianalítica.



### 6.3.2.1 Cálculo e expressão dos resultados:

Para realização dos cálculos de absorção de água, em porcentagem, foi utilizada a seguinte equação:

$$A = \frac{(M1 - M0)}{M0} \times 100$$

Onde:

- a. A é a absorção de água dos corpos-de-prova, em porcentagem;
- b. M1 é a massa do corpo-de-prova após o período de imersão considerado, em gramas;
- c. M0 é a massa do corpo-de-prova antes da imersão, em gramas.

Para realização dos cálculos de inchamento da espessura dos corpos-de-prova foi utilizada a seguinte equação:

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100$$

Onde:

- a. I é o inchamento em espessura do corpo-de-prova, em porcentagem;
- b. E1 é a espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado, em milímetros;
- c. E0 é a espessura do corpo-de-prova antes da imersão, em milímetros.

### 6.3.3 Ensaios de Resistência Térmica

Inicialmente, calculou-se a resistência térmica do conjunto aço (espessura + condutividade térmica) e do PUR (espessura + condutividade térmica) e

comparou-se com a soma da resistência térmica do compósito e com a resistência térmica do PUR, para verificar a possibilidade de redução da parede de PUR com a utilização de compósito no lugar da chapa de aço (ver apêndice D).

Para confirmação destes cálculos fez-se necessário a realização de experimento de resistência térmica, utilizando o sistema de placa quente, que se baseia na medição de fluxos de calor em regime permanente de temperatura, através de corpos-de-prova com formato de placas planas e paralelas, de acordo com a norma ABNT 11506.

Os corpos-de-prova utilizados tinham dimensões de 200 x 200 x 5 mm. Foram realizados ensaios de resistência térmica, na empresa Whirlpool – localizada na cidade de Joinville –, de dez corpos-de-prova com a densidade de 0,7 g/cm<sup>3</sup> e dez com a densidade de 0,9 g/cm<sup>3</sup>. A empresa não possui os resultados de ensaios térmicos da chapa de aço, por considerar insignificante o seu isolamento térmico.

Para este experimento foram avaliadas as duas densidades em estudo do compósito: 0,7 g/cm<sup>3</sup> e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, na ausência de umidade. O objetivo foi, além dos valores de resistência térmica do compósito, a avaliação da relação entre densidade e resistência térmica.

Utilizou-se o aparelho de condutividade térmica – Laser Comp Modelo FOX 200 –, disponibilizado pela empresa Whirlpool, para determinação do fator K (condutividade térmica), do compósito estudado figura 53.



FIGURA 53 – LASER COMP MODELO FOX 200

Esse aparelho é composto por duas placas, mantidas a temperaturas diferentes, sendo uma fria e outra quente. A tensão fornecida para aquecer a placa quente é ajustada até serem obtidas condições de regime estacionário, obtendo o valor da condutividade térmica, que é conduzido através do material em análise (figura 54).



FIGURA 54 – EXEMPLO DO PROCESSO

A temperatura para realização dos ensaios foi programada como sendo de 10°C para a placa fria (inferior) e de 38°C para a placa quente (superior). Os corpos-de-prova utilizados neste ensaio devem possuir dimensão de 200 x 200 mm (na forma mais plana possível). Porém, a troca de calor ocorre apenas no centro desta placa, em formato de triângulo (figura 55). O restante da placa serve apenas de

apoio e acondicionamento na máquina. A espessura dos corpos-de-prova ficaram em 5 mm, podendo o aparelho medir espessuras de até 50 mm.

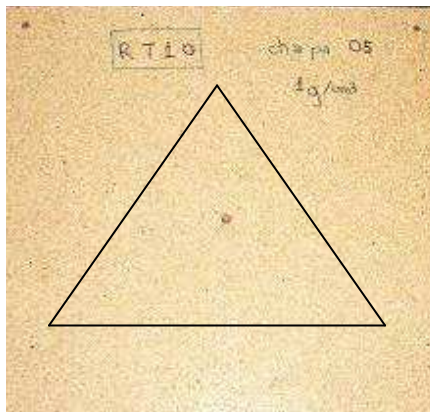


FIGURA 55 – REGIÃO DE TROCA TÉRMICA CONSIDERADA

O corpo-de-prova foi colocado no compartimento do equipamento; fechou-se a porta frontal e iniciou-se a troca de calor, até atingir o equilíbrio térmico. Anotaram-se os seguintes valores:

$\Delta x$  = espessura da amostra em cm;

$Q$  = fluxo térmico em mV;

$t_h$  = temperatura da placa quente em mV;

$t_c$  = temperatura da placa fria em mV.

Finalmente, o fator  $K$  da amostra foi calculado (através de software do equipamento) com a seguinte expressão:

$$K = \frac{N \cdot Q \cdot \Delta x}{\Delta T}$$

Onde:

$K$  = condutividade térmica em W/ mk;

$N$  = fator de calibração do equipamento em W/ (m.K.cm);

$\Delta T$  = diferença entre a temperatura das placas quente e fria em mV.

#### 6.3.4 Ensaios de Rigidez Dielétrica (Resistência elétrica)

Foi de grande interesse o desenvolvimento de ensaios elétricos, pois a proposta é de aplicação do compósito em gabinetes de eletrodomésticos “linha branca”, e esses produtos, geralmente, permanecem em locais de contato direto com a água da torneira – água não destilada.

Primeiramente, foram realizados ensaios empíricos de continuidade elétrica, com a utilização de multímetro. Este ensaio buscou verificar a possível continuidade elétrica do material, ou seja, examinar possível condução de energia através do compósito.

Foram realizados ensaios de rigidez dielétrica, no Laboratório Elétrico e de Análises de Equipamentos, da Companhia Paranaense de Energia – COPEL.

Este ensaio é também conhecido como: Testadores de Segurança Elétrica; Teste de Tensão Aplicada; ou Teste de HIPOT. Tem por objetivo verificar o valor limite de tensão que o material resiste. Essa tensão é aplicada sobre a espessura do material (kV/ mm), e quando o produto ensaiado não resistir à tensão aplicada, os átomos que compõem o material se ionizam e o material dielétrico deixa de funcionar como um isolante.

O equipamento utilizado para realização do ensaio foi o HIPOT, com tensão máxima de 5 kV (figura 56). Possui duas camadas de medidas: uma inferior de 0 kV a 2,5 kV e uma superior de 2,5 kV a 5 kV.



FIGURA 56 – MÁQUINA HIPOT

O equipamento é calibrado de forma a ocorrer fuga da tensão caso haja a ruptura da condição dielétrica, ou seja, condução da eletricidade através do material. A fuga é representada pela queda da tensão do equipamento.

Para este ensaio, é necessária a utilização de uma placa metálica que serve como base condutora de energia. O equipamento é composto de uma fase e de um neutro (figura 57).

Para o ensaio, após o equipamento ser ligado, o compósito é colocado sobre a placa metálica e é aplicada sobre ele a tensão estipulada. A fase do equipamento é colocada em contato com o compósito, e o neutro em contato com a placa metálica. Desta forma, o compósito será o meio de condução, ou não, desta energia (figura 58).



FIGURA 57 – MATERIAIS PARA ENSAIO



FIGURA 58 – DETALHE ENSAIO

O ensaio é iniciado com aplicação de baixa tensão (1 kV), a qual é acrescida progressivamente até o momento em que houver a ruptura e consequente fuga de energia.

### 6.3.5 Ciclo de Vida do Produto

#### 6.3.5.1 Comparação do impacto ambiental – programa *Simapro*

A pesquisa sobre análise do ciclo de vida tem o objetivo de comparar o impacto ambiental causado pelo compósito e pela chapa de aço, utilizando a análise dos materiais e processos utilizados para fabricá-los. Para a comparação do impacto do produto no meio ambiente foi utilizado o *software Simapro*.

Na análise do produto foram consideradas e comparadas iguais quantidades (m<sup>2</sup>) dos dois materiais: o compósito pesquisado e a chapa de aço pré-pintada. Os seguintes aspectos foram levantados sobre cada produto: dimensões, materiais utilizados para fabricação – resíduos de madeira, adesivo MUF e catalisador, no caso da madeira, e aço, no caso da chapa metálica –; acabamentos; processos de produção e consumo de energia. Não foi considerado o transporte nesta avaliação.

A realização da comparação dos produtos, que utilizou as informações geradas pelo *software Simapro*, tendo como base de dados o Ecoindicator 99, permitiu observar qual produto (compósito ou aço) possui menor impacto ambiental.

Foi também realizado um ensaio empírico, sem base normativa, para avaliação da degradação do compósito e da chapa de aço, quando expostos ao

meio ambiente, ou seja, descartados. O resultado deste ensaio é possível de se verificar no apêndice F.

Para comparação dos impactos, do compósito e da chapa de aço pré-pintada, foram utilizados os seguintes elementos gráficos: Caracterização (análise quantitativa) e Ponderação (análise qualitativa).

#### 6.3.6 Comparação de Peso Entre o Aço e o Compósito

Para comparação de peso entre o compósito e a chapa de aço pré-pintada, utilizou-se como base o  $m^2$  de cada produto, considerando suas características e espessuras. Para início da avaliação, fez-se necessário o levantamento de características físicas como: volumes, densidades e pesos das peças.

Para cálculo das massas foi considerado um peso de aproximadamente 4 kg para cada  $m^2$  de chapa de aço pré-pintada, com espessura de 0,5mm, considerando que todos os gabinetes das peças “linha branca”, que utilizam a chapa pré-pintada em sua fabricação, são fabricados com esta espessura de aço, que é a menor possível de ser utilizada. O compósito estudado possui espessura de 5 mm.

#### 6.3.7 Proposta de Acabamento Para Gabinetes Fabricados com Compósito

Como proposta de acabamento (pintura) possível de se aplicar no compósito madeira/plástico, foram utilizados os seguintes tipos de tintas e vernizes:

- a. Tinta esmalte sintético marca Farbem: aplicação de três demãos de tinta com a ajuda de pincel, sendo antes aplicada uma camada de impermeabilizante – selador – como base;



- b. Tinta esmalte sintético à base de água marca Suvinil: aplicação de três demãos de tinta, com a utilização de pincel, sendo dispensado a utilização de base;
- c. Verniz Poliuretano (PUR) brilhante marca Farbem: aplicação (com pistola) de fundo primer e de duas demãos de verniz;
- d. Verniz exterior acetinado à base de água marca Sayerlack (Aquaris): aplicação (com pincel) de duas demãos de verniz diluído em 5% de água, sem utilização de fundo.

#### 6.4 ANÁLISE DA METODOLOGIA

Este capítulo apresentou a fabricação dos corpos-de-prova (materiais necessários, quantidades e metodologia de fabricação), que resultaram em chapas de boa qualidade.

Também foram apresentados os ensaios de absorção de água e inchamento, ensaio térmico, ensaio de rigidez dielétrica (resistência elétrica), e suas metodologias. O andamento dos ensaios foi próximo ao estimado

Também foram apresentados os ensaios complementares, como o estudo da comparação do impacto ambiental do compósito e da chapa de aço pré-pintada, o estudo da comparação do peso do compósito e da chapa de aço, e propostas de acabamento (pintura) para o compósito.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados os seguintes resultados dos ensaios realizados e das análises complementares: densidade média; absorção de água e inchamento; resistência térmica; rigidez dielétrica (resistência elétrica); análise do impacto do compósito e da chapa de aço através do *software Simapro*; comparação entre o peso do compósito e o da chapa de aço; e proposta de acabamento para o compósito.

### 7.1 ENSAIO DE DENSIDADE

As amostras de compósitos utilizadas nos ensaios de absorção de água e de inchamento, de resistência térmica e de rigidez dielétrica (resistência elétrica) apresentaram médias distintas de densidades.

Considerando as amostras de compósito de densidade pretendida 0,9 g/cm<sup>3</sup>, os corpos-de-prova para o ensaio de resistência térmica (R.T.) apresentaram média de 0,82 g/cm<sup>3</sup>, os de resistência elétrica (R.E.) apresentaram média de 0,83 g/cm<sup>3</sup>, e os corpos-de-prova para o ensaio de absorção e inchamento (A&I), sem selador, apresentaram média de densidade de 0,78 g/cm<sup>3</sup>, tendo média de 0,77 g/cm<sup>3</sup> as peças que receberiam o impermeabilizante e de 0,81 g/cm<sup>3</sup>, após a aplicação do impermeabilizante (tabela 8).

Foram coletados de todas as amostras (corpos-de-prova), o comprimento, a largura, o peso e a espessura da peça (a espessura foi coletada em cinco pontos diferentes de cada peça e realizada uma média de todas). Com base nestes dados foi calculada a densidade.

TABELA 8 – DENSIDADE MÉDIA CORPOS-DE-PROVA 0,9 g/cm<sup>3</sup>

Corpo-de-prova	Densidade pretendida (g/cm <sup>3</sup> )	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Peso médio (g)	Espessura média	Densidade média (g/cm <sup>3</sup> )
R. T.	0,9	200	200	170,54	5,23	0,82
R. E	0,9	100,16	100,16	44,33	5,33	0,83
A&I	0,9	25,25	25,28	2,58	5,18	0,78
A&I	0,9	25,33	25,20	2,58	5,26	0,77
A&I *	0,9	25,33	25,20	2,73	5,27	0,81

\* Corpo-de-prova para ensaio de absorção e inchamento com selador

Os ensaios com densidade pretendida de 0,7 g/cm<sup>3</sup> apresentaram média de densidade de 0,61 g/cm<sup>3</sup> para os corpos-de-prova utilizados no ensaio de Resistência térmica; 0,61 g/cm<sup>3</sup> para os de Resistência elétrica e 0,55 g/cm<sup>3</sup> para os de Absorção de água e Inchamento (tabela 9).

TABELA 9 – DENSIDADE MÉDIA CORPOS-DE-PROVA 0,7 g/cm<sup>3</sup>

Corpo-de-prova	Densidade desejada (g/cm <sup>3</sup> )	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Peso médio (g)	Espessura média	Densidade média (g/cm <sup>3</sup> )
R.T. 11-20	0,7	200	200	123,97	5,10	0,61
R.E. 11-20	0,7	100,13	100,12	31,35	5,15	0,61
A&I - 11-20	0,7	25,21	25,10	1,78	5,12	0,55

## 7.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

No ensaio de absorção de água foram analisados corpos-de-prova com densidades estimadas de: 0,9 g/cm<sup>3</sup>, 0,7 g/cm<sup>3</sup> e 0,9 g/cm<sup>3</sup> isolados com impermeabilizante. Porém, a norma NBR 14810-2 – Chapas de madeira aglomerada, Requisitos – não estabelece valores para a absorção máxima de água, por não possuir propriedades especificadas.

O valor médio de absorção de água para os corpos-de-prova de densidade 0,9 g/cm<sup>3</sup>, nas primeiras duas horas de ensaio, foi de 21,5%, e a média de absorção após 24 horas de imersão foi de 40,6%, (tabela 10). O desvio padrão apresentou índice de 0,37 para duas horas de ensaio e coeficiente de variação de 13,57. Os

mesmos valores para o período de 24 horas foram de 0,71 e 23,75, respectivamente.

TABELA 10 – SÍNTESE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS CORPOS-DE-PROVA

	Absorção 2h (%)	Absorção 24h (%)	Desvio Padrão (2h)	Coefic. variação	Desvio Padrão (24h)	Coefic. variação
0,9 g/cm <sup>3</sup>	21,5	40,6	0,3748	13,57	0,71	23,75
0,7 g/cm <sup>3</sup>	49,9	74,9	0,5940	28,02	0,64	27,76
0,9 g/cm <sup>3</sup> (selador) / sem considerar selador	8,4	23,6	0,1485	5,66	0,29	10,56
0,9 g/cm <sup>3</sup> (selador) / Considerando selador	1,1	15,2	0,0205	0,7541	0,23	7,67

Os ensaios com densidade 0,7 g/cm<sup>3</sup> apresentaram inchamento de 49,9 % nas primeiras duas horas, com desvio padrão de 0,59 e coeficiente de variação de 28,02. Após 24 horas de ensaio o índice de absorção subiu para 74,9% com desvio padrão de 0,64 e coeficiente de variação de 27,76 (tabela 10).

Se não for considerado o impermeabilizante absorvido, sendo utilizados como referência o peso antes da impermeabilização e após o período de imersão, a absorção de água foi de 8,4 % nas primeiras duas horas de ensaio e de 23,6% nas próximas 24 horas. O desvio padrão foi de 0,14 e o coeficiente de variação de 5,66 para a primeira parte do ensaio, apresentando a segunda etapa valores de desvio padrão de 0,29 e coeficiente de variação de 10,56, respectivamente.

Porém, considerando-se que o compósito absorveu impermeabilizante quando este foi aplicado, a real absorção de água pelos corpos-de-prova atingiu uma média de 1,1 % em duas horas de ensaio, com desvio padrão de 0,02 e coeficiente de variação de 0,75. Nas próximas 24 horas de ensaio a absorção de água atingiu 15,2 % com desvio padrão de 0,22 e coeficiente de variação de 7,67. A absorção apresentada pelas amostras foi maior durante a aplicação de selador (5,88%) do que quando foram imersas em água por duas horas (1,1 %).

### 7.2.1 Discussão

O ensaio demonstrou que o compósito que apresentou maior absorção de água foi o de densidade  $0,7 \text{ g/cm}^3$  (menor densidade), sendo aproximadamente 2 vezes mais hidróscópico do que o compósito com densidade  $0,9 \text{ g/cm}^3$ .

Quando o compósito é impregnado com impermeabilizante a absorção de água é reduzida, sendo de aproximadamente 2,6 vezes menor que o compósito de igual densidade, porém, sem impermeabilizante.

Estes resultados são muito interessantes para o desenvolvimento de um produto utilizando compósito, pois a aplicação de impermeabilizante em um compósito, já reduz em grande proporção a absorção de água, não considerando que o produto ainda passará por um acabamento, no qual será utilizado tinta ou verniz, além do impermeabilizante.

### 7.3 INCHAMENTO

A norma NBR 14810-2 – Chapas de madeira aglomerada, Requisitos – estabelece valores apenas para inchamento em duas horas de ensaio, que deve ser máximo de 8%. Os valores encontrados para as chapas de densidade  $0,9 \text{ g/cm}^3$  e  $0,7 \text{ g/cm}^3$  foram inferiores aos estabelecidos pela norma, consequência da maior quantidade de resina utilizada nesta pesquisa, em comparação com painéis de aglomerado comercializados, e também da utilização de resina melamina, que tem propriedade de reduzir a absorção de água e, conseqüentemente, o inchamento do material.

Além dos índices de inchamento, também é apresentado o desvio padrão do inchamento do ensaio de duas horas (E0 e E1) e de 24 horas (E1 e E2) e de seus respectivos coeficientes de variação. Este expressa a relação percentual entre o desvio padrão e a média. Um coeficiente de variação superior a 50% indica elevada dispersão dos valores relativos à média e, conseqüentemente, será reduzida a sua representatividade como medida estatística.

A síntese dos resultados do ensaio de inchamento está apresentada na tabela 11.

TABELA 11 – SÍNTESE INCHAMENTO CORPOS-DE-PROVA

	Inchamento 2h (%)	Inchamento 24h (%)	Desvio Padrão (2h)	Coefic. variação	Desvio Padrão (24h)	Coefic. variação
0,9 g/cm <sup>3</sup>	0,82	3,06	0,03	0,58	0,11	2,12
0,7 g/cm <sup>3</sup>	1,21	3,44	0,044	0,85	0,12	2,38
0,9 g/cm <sup>3</sup> (selador) / sem considerar selador	0,25	2,04	0,0092	0,18	0,07	1,42
0,9 g/cm <sup>3</sup> (selador) / Considerando selador	0,09	1,87	0,0032	0,06	0,07	1,30

O ensaio de inchamento das amostras com densidade pretendida de 0,9 g/cm<sup>3</sup>, apresentou média de inchamento inferior a 1% no tempo de duas horas e igual a 3,06% em um período de 24 horas de imersão. O desvio padrão, para as medidas alcançadas nas primeiras duas horas de imersão, foi de 0,03, com coeficiente de variação de 0,58% e para 24 horas de imersão foi de 0,11 com coeficiente de variação de 2,12%.

As amostras com densidade pretendida de 0,7 g/cm<sup>3</sup>, também apresentaram índices de inchamento satisfatórios, pois, o inchamento médio foi de 1,21% no tempo de duas horas e igual a 3,44% em um período de 24 horas de imersão.

No caso deste ensaio o desvio padrão, para as medidas alcançadas nas primeiras 2 horas de imersão, foi de 0,043, e para 24 horas de imersão foi de 0,12, sendo de 0,85% e 2,38% os respectivos coeficientes de variação.

Também, foram analisados valores de inchamento das amostras, com densidade pretendida de  $0,9 \text{ g/cm}^3$ , com duas camadas de impermeabilizante, para ensaiar a redução no índice de inchamento da peça ao ter seus poros fechados. Os ensaios apresentaram inchamento inferior aos que não possuíam o impermeabilizante, com uma média de inchamento de 0,25% no tempo de duas horas e igual a 2,04%, em um período de 24 horas de imersão.

No caso deste ensaio, com utilização de impermeabilizante, o desvio padrão, para as medidas alcançadas nas primeiras duas horas de imersão, foi de 0,0092, e para 24 horas de imersão foi de 0,07, sendo os respectivos coeficiente de variação de 0,18% e 1,42%.

Porém, estes resultados que apresentaram o inchamento do compósito isolado com impermeabilizante, não consideraram o inchamento que ocorreu com a aplicação do isolante, considerando apenas o corpo-de-prova antes da impermeabilização e após a imersão. As amostras, que tinham uma média de peso de 2,58 g atingiram peso de 2,73 g após a aplicação de selador. A espessura também se alterou de 5,26 mm para 5,27 mm. Estas alterações ocasionaram inchamento de 0,17% e absorção de 5,88% de impermeabilizante.

Essas amostras, que apresentavam média de espessura de 5,27 mm após aplicação de selador, obtiveram espessura de 5,28 mm após duas horas de ensaio com índice de inchamento de 0,09%, sendo um índice próximo de zero. O inchamento em 24 horas apresentou índice de 1,87%. Os valores de desvio padrão considerados para esta nova análise foram de 0,0032 com coeficiente de variação

de 0,06 para as primeiras duas horas de ensaio, e de 0,07 com coeficiente de 1,30 para as 24 horas.

### 7.3.1 Discussão

O compósito que apresenta maior variação na sua espessura, ao entrar em contato com a água é o que possui menor densidade (0,7 g/cm<sup>3</sup>). Porém, após algum tempo na água ele reduz a sua taxa de inchamento, em comparação com o de densidade superior (0,9 g/cm<sup>3</sup>).

Através do cruzamento dos resultados também é possível afirmar que o ensaio com impermeabilizante apresentou índice de inchamento inferior ao se comparar com os compósitos sem isolamento.

## 7.4 RESISTÊNCIA TÉRMICA

Os resultados do ensaio de resistência térmica indicaram que o compósito com densidade pretendida de 0,7 g/cm<sup>3</sup> apresenta maior capacidade de isolamento térmico, através da média dos resultados de coeficiente de condutividade, do que o compósito com densidade pretendida de 0,9 g/cm<sup>3</sup>, pois, com média de 0,0763 W/mK é 3,7% menos condutível que os de densidade pretendida de 0,9 g/cm<sup>3</sup> que apresentaram média de resistência térmica de 0,0791 (tabela 12).

TABELA 12 – MÉDIA DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DENSIDADE 0,7 G/CM<sup>3</sup> E 0,9 G/CM<sup>3</sup>

Densidade Pretendida (g/cm <sup>3</sup> )	Temperaturas		Resistência térmica			Desvio Padrão	Coeficiente de variação
	Placa Fria	Placa Quente	Maior	Menor	Média		
0,7	10.00 °C	38.00 °C	0,0798	0,0728	0,0763	0,0049	6,4792
0,9	10.00 °C	38.00 °C	0,0827	0,0755	0,0791	0,0051	6,4725



Os ensaios com densidade  $0,7 \text{ g/cm}^3$  apresentaram média de condutividade térmica aproximadamente 3,5 vezes superior que a condutividade térmica do PUR, e o compósito com densidade  $0,9 \text{ g/cm}^3$  apresentou condutividade térmica aproximadamente 3,6 vezes maior que a condutividade térmica do PUR.

O gráfico 3 oferece uma visualização clara da relação entre o compósito e a sua condutividade térmica, sendo possível verificar que a linha da média de condutividade térmica das amostras com densidade pretendida de  $0,9 \text{ g/cm}^3$  fica acima da linha média das amostras com densidade pretendida de  $0,7 \text{ g/cm}^3$ .

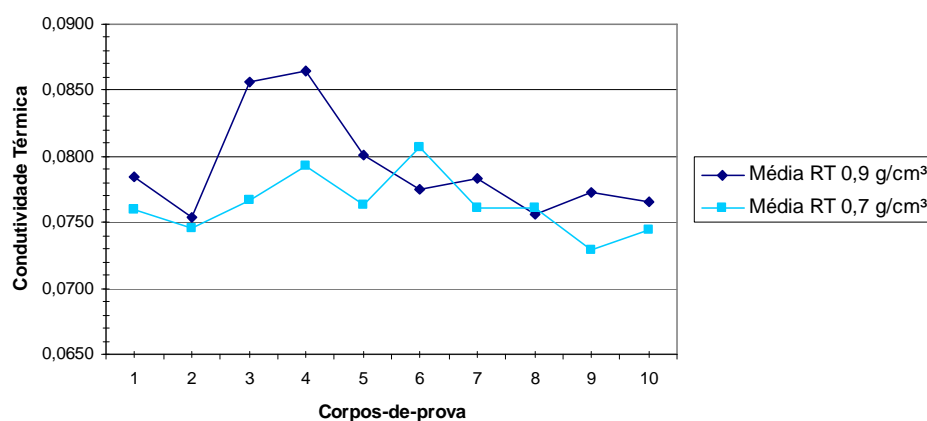


GRÁFICO 3 – RESISTÊNCIAS TÉRMICAS DENSIDADES  $0,7 \text{ g/cm}^3$  E  $0,9 \text{ g/cm}^3$

O desvio padrão teve média de 0,0051 nas amostras com densidade  $0,9 \text{ g/cm}^3$  e de 0,0049 nas amostras com densidade  $0,7 \text{ g/cm}^3$ .(gráfico 4). O coeficiente de variação apresentou valores similares nos dois ensaios, sendo de 6,47.

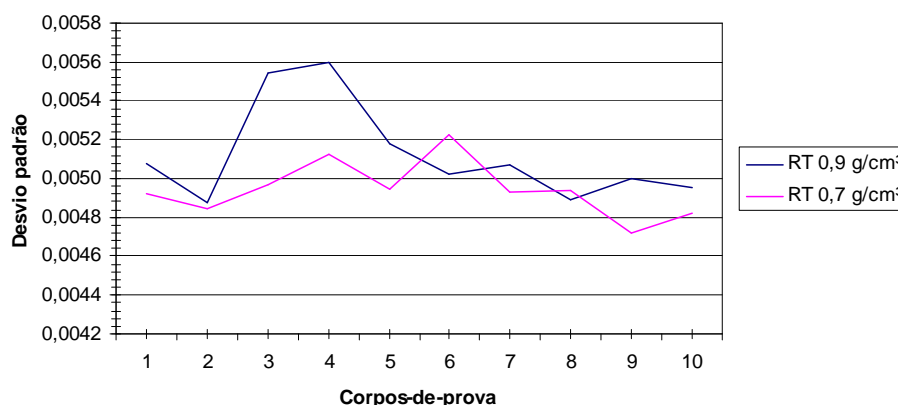


GRÁFICO 4 – DESVIO PADRÃO DENSIDADES  $0,7 \text{ g/cm}^3$  E  $0,9 \text{ g/cm}^3$

#### 7.4.1 Discussão

Em um exemplo de eletrodoméstico “linha branca”, que possui isolamento térmico nas laterais, a espessura média de PUR da parede de isolamento é de 25 mm, e ao acrescentar a espessura de 0,5 mm do revestimento externo em chapa de aço, têm-se uma espessura final – entre aço e PUR – de 25,5 mm. Se a combinação aço mais PUR fosse substituída por compósito, considerando a densidade de 0,7 g/cm<sup>3</sup> com uma condutividade de 0,076 W/mk, seria necessário uma parede de espessura aproximadamente 86,5 mm.

Este resultado confirmou os cálculos preliminares de resistência térmica do compósito, o qual demonstrava que a aplicação deste em gabinetes de eletrodomésticos que tem a função de refrigeração, apresentaria pouca diferença em termos de isolamento térmico, em comparação à chapa de aço, ou seja, permitiria pouca redução na espessura da parede do PUR (ver apêndice D).

Isto demonstra que com a utilização de compósito em gabinetes da “linha branca” a utilização de PUR continua necessária. Porém, assim como os cálculos indicaram, ocorre uma diminuição de aproximadamente 2 mm na espessura do PUR, ficando com 23 mm ao se utilizar o compósito de espessura 5 mm. Isto é um dado interessante, ao se analisar que o compósito é mais leve que a chapa de aço.

Desta forma, a utilização de compósito, considerando a menor densidade estudada de 0,7 g/cm<sup>3</sup>, no gabinete de um aparelho de refrigeração, se torna interessante pela diminuição de PUR. Entretanto, a parede ganhará espessura ao substituir a chapa de aço por compósito, ficando aproximadamente 3 mm mais espessa do que a tradicional lateral encontrada nos produtos eletrodomésticos ofertados no mercado.

## 7.5 ENSAIO DE RIGIDEZ DIELÉTRICA (RESISTÊNCIA ELÉTRICA)

Ensaio empíricos realizados para verificar a continuidade elétrica do compósito, através de multímetro com potência de 9V, demonstrou que o material não permitia continuidade elétrica (ver apêndice E). Como seguimento para esses estudos preliminares, foi realizado o ensaio de rigidez dielétrica.

O ensaio iniciou-se com a aplicação de tensão de 1 kV e o compósito indicou resistência. Gradativamente a escala de energia do equipamento foi aumentando até a energia máxima na escala superior de 4 kV e o compósito não perdeu suas propriedades, sendo isolante elétrico à alta tensão. Todas os dez corpos-de-prova de densidade pretendida  $0,7 \text{ g/cm}^3$  e  $0,9 \text{ g/cm}^3$ , sem umidade, indicaram resistência à tensão de até 4 kV.

Na figura 59 o compósito de densidade pretendida  $0,9 \text{ g/cm}^3$  está sendo submetido a uma tensão de 4 kV, sem ocorrer fuga de energia. Da mesma forma, o compósito com densidade pretendida  $0,7 \text{ g/cm}^3$ , foi exposto à mesma tensão apresentando as mesmas características do compósito de  $0,9 \text{ g/cm}^3$ .

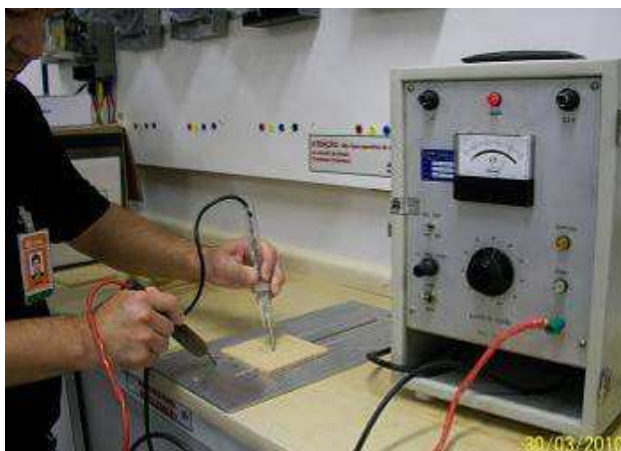


FIGURA 59 – ENSAIO RIGIDEZ DIELÉTRICA DO COMPÓSITO COM DENSIDADE  $0,9 \text{ g/cm}^3$

Os corpos-de-prova que estavam úmidos apresentaram resistência muito inferior, sendo isolantes elétricos em uma potência média de 175,5 V para os de densidade 0,9 g/cm<sup>3</sup> e de 280 V para os de densidade 0,7 g/cm<sup>3</sup> (tabela 13).

TABELA 13 – RESULTADO ENSAIO DE RIGIDEZ DIELÉTRICA

Corpo-de-prova	Densidade Pretendida g/cm <sup>3</sup>	Densidade média g/cm <sup>3</sup>	Rigidez elétrica / sem umidade	Rigidez elétrica / com umidade
RE1-10	0,9	0,83	4 kV	175,5
RE1-10	0,7	0,61	4 kV	280

O compósito úmido apresentou resistência média entre 175,5 e 280 V quando estavam encharcados de água. Nestas tensões, realmente não ocorreu transmissão de energia. Porém, submetidas a tensão maiores, como 500 V, não apresentaram ruptura das propriedades, entretanto ocorreu um mínimo de condução de energia.

#### 7.5.1 Discussão

Com base nos resultados alcançados o compósito é uma opção viável de aplicação em produtos da “linha branca”, pois possui alto nível de isolamento elétrico.

O fato de o compósito possuir quantidade maior de resina colaborou para o alcance deste resultado, pois, a madeira, apesar de seu reconhecido nível de isolamento elétrico, quando em contato com a água, perde esta propriedade. No compósito, as partículas de madeira estão impregnadas por resina, inclusive a melamina, o que ocasiona maior resistência à umidade.

## 7.6 COMPARAÇÃO IMPACTO AMBIENTAL - ANÁLISE DO SIMAPRO

De acordo com o gráfico de caracterização (gráfico 5) a chapa de aço é mais impactante do que o compósito pesquisado. O compósito com maior densidade –  $0,9 \text{ g/cm}^3$  - apresentou-se, de forma moderada, mais impactante do que o compósito com densidade  $0,7 \text{ g/cm}^3$ .

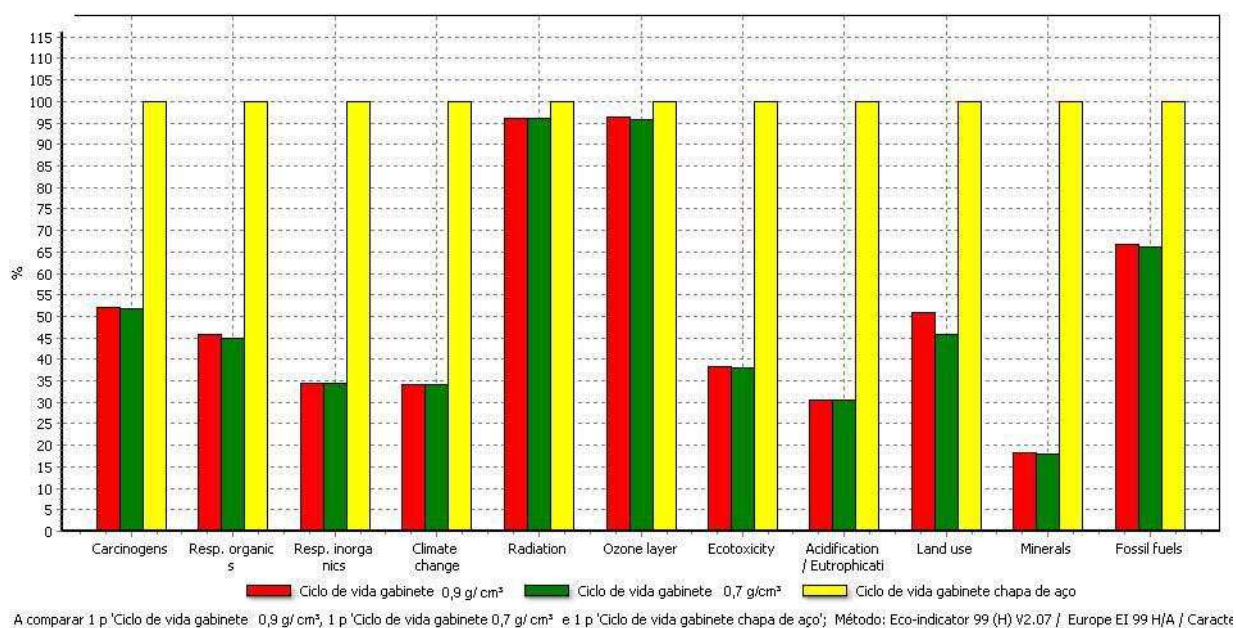


GRÁFICO 5 – GRÁFICO CARACTERIZAÇÃO

Os resultados apresentados pelo gráfico podem ser sintetizados na tabela 14, que demonstra, em cor azul, os resultados mais impactantes. A chapa de aço atingiu índice de 100% de impacto em todos os itens, em comparação com o compósito.

O compósito apresentou maior impacto nos aspectos radiação e camada de ozônio, com média de 96% de impacto – quase se equiparando ao impacto gerado pela chapa de aço.

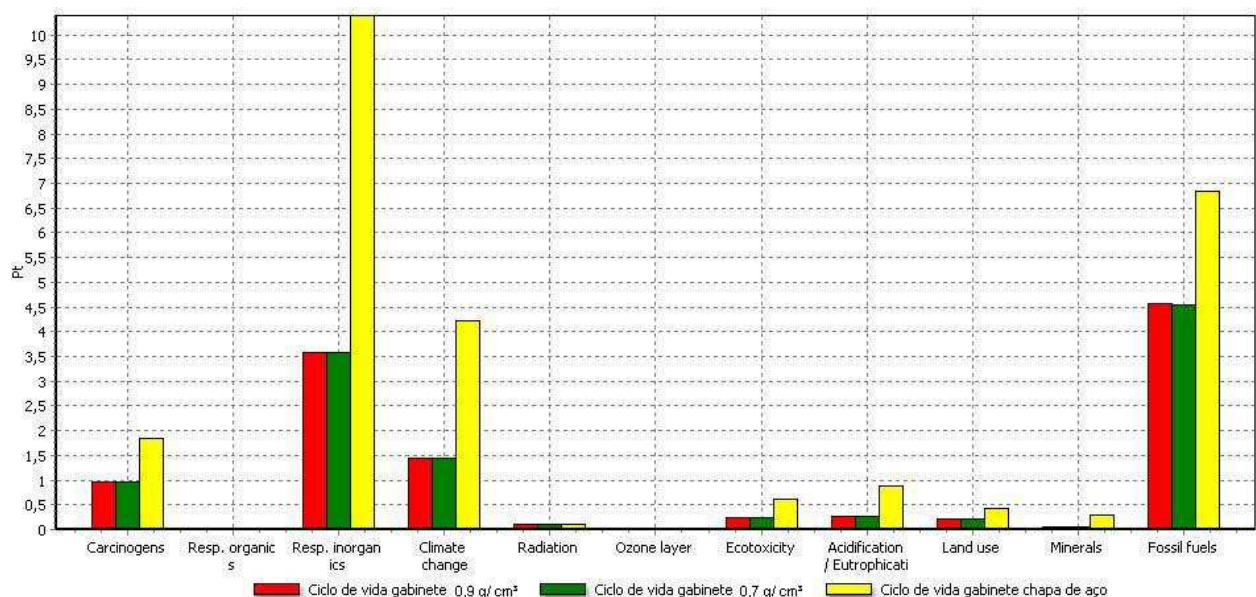
TABELA 14 – TABELA COMPARATIVA DOS RESULTADOS GRÁFICO  
CARACTERIZAÇÃO

	Compósito 0,7 g/cm³	Compósito 0,9 g/cm³	Chapa de aço
Cancerígeno (%)	53	54	100
Resp. Orgânica (%)	45	46	100
Resp. Inorgânica (%)	34	34	100
Mudanças climáticas (%)	33,5	33,5	100
Radiação (%)	96	96	100
Camada de ozônio (%)	96	97	100
Toxidade (%)	37	38	100
Acidificação (%)	31	31	100
Uso do solo (%)	46	51	100
Minerais (%)	18	18,5	100
Combustíveis fósseis (%)	66	67	100

Outros aspectos nos quais o compósito também apresentou índice elevado de impacto, em comparação com a chapa de aço, foram os itens combustíveis fósseis, com média de 66,5% e cancerígeno, com média de 53,5%. Estas alterações ocorreram por consequência da resina formaldeído utilizada para formação do material. Os outros aspectos, em média, permaneceram abaixo de 50% de impacto, ao se comparar com o aço. Nenhum aspecto apresentou o compósito como o produto de maior impacto.

Considerando uma média de todos os aspectos impactantes para o compósito 0,7 g/cm³, para o compósito 0,9 g/cm³ e para a chapa de aço o impacto poderia ser considerado como 50,5%, 51,45% e 100%, respectivamente.

A avaliação dos impactos do produto através do gráfico de ponderação, também apontou a chapa de aço, em média, duas vezes mais impactante do que o compósito (gráfico 6).



A comparar 1 p 'Ciclo de vida gabinete 0,9 g/cm³', 1 p 'Ciclo de vida gabinete 0,7 g/cm³' e 1 p 'Ciclo de vida gabinete chapa de aço'; Método: Eco-indicator 99 (H) V2.07 / Europe EI 99 H/A / Pond

GRÁFICO 6 – GRÁFICO PONDERAÇÃO

Em todos os aspectos o metal foi mais agressor para o meio ambiente do que o compósito. Os aspectos mais impactantes apontados neste gráfico são: cancerígenos, respiração inorgânica, mudanças climáticas e combustíveis fósseis. Sendo o maior impacto da chapa de aço no item respiração inorgânica, com índice de 10,4, e o maior impacto causado pelo compósito no item combustíveis fósseis, com índice de 4,58. As duas densidades de compósito apresentaram impacto semelhante (tabela 15).

TABELA 15 – TABELA COMPARATIVA DOS RESULTADOS DO GRÁFICO DE PONDERAÇÃO

	Compósito 0,7 g/cm³	Compósito 0,9 g/cm³	Chapa de aço
Cancerígeno	0,96	0,96	1,85
Resp. Orgânica	0,0017	0,0018	0,0039
Resp. Inorgânica	3,57	3,58	10,4
Mudanças climáticas	1,44	1,44	4,22
Radiação	0,112	0,112	0,117
Camada de ozônio	0,00039	0,00039	0,000412
Toxidade	0,23	0,23	0,613
Acidificação	0,27	0,27	0,884
Uso do solo	0,2	0,22	0,437
Minerais	0,053	0,054	0,297
Combustíveis fósseis	4,53	4,58	6,85
Total	11,37	11,45	25,67

## 7.7 COMPARAÇÃO DO PESO DO COMPÓSITO E DA CHAPA DE AÇO

A tabela 16 apresenta o peso do m<sup>2</sup> de compósito densidade 0,7 g/cm<sup>3</sup>, do compósito 0,9 g/cm<sup>3</sup> e da chapa de aço pré-pintada.

TABELA 16 – COMPARAÇÃO PESOS COMPÓSITOS E CHAPA DE AÇO

Material	Área (m <sup>2</sup> )	Espessura (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Densidade g/cm <sup>3</sup>	Peso (Kg/m <sup>3</sup> ) <sup>8</sup>
Compósito	1	0,005	0,005	0,7	3,5
Compósito	1	0,005	0,005	0,9	4,5
Chapa de aço	1	0,0005	0,0005	7,85	3,9

De acordo com a espessura e densidade de cada material, o material mais leve é a peça de compósito com densidade pretendida 0,7 g/cm<sup>3</sup>, e o material mais pesado é o compósito com densidade pretendida 0,9 g/cm<sup>3</sup>.

A chapa de aço apresenta peso intermediário entre o peso das duas densidades de compósito.

### 7.7.1 Discussão

O compósito é significativamente mais leve do que a chapa de aço, pois, embora o compósito com maior densidade tenha apresentado peso superior à chapa de aço é válido ressaltar que a espessura do compósito é dez vezes maior do que a chapa de aço.

Este fato é de grande interesse no desenvolvimento de um produto e na escolha do material a ser utilizado, pois um menor peso se reflete em menor impacto ambiental, menor custo e maior facilidade de transporte.

---

<sup>8</sup> Peso multiplicado por 1.000



## 7.8 PROPOSTA DE ACABAMENTO DE AMOSTRAS DE COMPÓSITO

A aplicação de verniz e de tinta no compósito (densidade pretendida 0,7 g/cm<sup>3</sup> e 0,9 g/cm<sup>3</sup>) permitiu verificar que o material apresenta bom aspecto visual com diferentes acabamentos. A figura 60 apresenta quatro tipos de acabamento aplicados no compósito<sup>9</sup>.









	COMPÓSITO DENSIDADE 0,7 g /cm <sup>3</sup>	COMPÓSITO DENSIDADE 0,9 g /cm <sup>3</sup>
VERNIZ PUR BRILHANTE		
VERNIZ ACETINADO À BASE DE ÁGUA		
ESMALTE SINTÉTICO ACETINADO		
ESMALTE SINTÉTICO BRILHANTE À		

FIGURA 60 – PROPOSTAS DE ACABAMENTO PARA O COMPÓSITO

<sup>9</sup> A porção inferior do corpo de prova não recebeu qualquer acabamento.

As peças de compósito que compõem a figura 60 estão representadas apenas com pintura em parte delas, para ser possível comparar a diferença do material em sua forma natural com o material com acabamento.

As peças de compósito pintadas com verniz tipo poliuretano apresentaram ótimo acabamento e aspecto visual, conferindo ao compósito revestimento brilhante transparente e preservando seu tom natural. A aplicação de verniz à base de água também apresentou boa aplicação no compósito. Porém, talvez pela sua propriedade acetinada, ficou visualmente semelhante à aplicação de cera natural, com tom mais amarelado do que o verniz poliuretano (PUR).

O esmalte sintético também apresentou bom aspecto visual, com acabamento liso. Porém, na peça com densidade  $0,9 \text{ g/cm}^3$  o resultado foi mais satisfatório, com superfície mais uniforme, comparado com a peça de compósito de densidade  $0,7 \text{ g/cm}^3$ . O esmalte sintético à base de água apresentou resultado semelhante ao esmalte à base de solvente, sendo, também, visualmente melhor na peça com densidade superior.

As peças que receberam a pintura com pistola (verniz PUR) apresentaram acabamento superior em relação as que foram pintadas com pincel (esmalte sintético à base de água).

As amostras de compósito que apresentaram maior absorção de tinta, e variação na sua espessura, foram as de densidade  $0,7 \text{ g/cm}^3$ .

#### 7.8.1 Discussão

O compósito com densidade inferior absorve maior quantidade de tinta, o que compromete a qualidade do acabamento. Porém, em termos gerais o resultado

foi satisfatório, apresentando, o compósito com densidade  $0,9 \text{ g/cm}^3$ , um bom acabamento em verniz (a base de água e PU) e também em tinta acrílica.

Este fato amplia a possibilidade de aplicação do compósito, visto que não será obrigatório mostrar que o produto foi desenvolvido com este material, ficando, desta forma, opcional a “aparência” de madeira.

## 7.9 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados de acordo como previsto na metodologia e seus resultados também foram satisfatórios. Alguns dados, que já eram possíveis deduzir antes dos ensaios, como as propriedades isolantes térmicas e elétricas do material, foram confirmadas, e outras foram verificadas, como o caso do compósito mais denso ( $0,9 \text{ g/cm}^3$ ) possuir maior peso do que a chapa de aço.

Em termos de absorção de água e inchamento, o material analisado manteve-se dentro do estipulado pela norma que regulamenta o índice máximo de inchamento.

A comparação do impacto ambiental dos materiais compósito e chapa de aço, realizada através do *software SimaPro*, também apresentou um resultado interessante, pois mesmo com a utilização do formaldeído, o compósito se mostrou menos impactante.

## 8. PROPOSTA CONCEITUAL DE APLICAÇÃO DO COMPÓSITO EM ADEGA

Como proposta de aplicação do compósito em um gabinete de eletrodoméstico tipo “linha branca”, com a demonstração da possibilidade de formas sinuosas, de modularização e de eletrodomésticos com semelhança visual de mobiliário, foi desenvolvida uma proposta conceitual de uma adega para vinhos.

A proposta de adega possui dimensão 600 x 600 x 600 mm (L x A x P), e, em corte horizontal tem suas formas representadas pela figura 61. As laterais podem ser compostas por oito peças iguais, com o mesmo ângulo, o que possibilita uma otimização de moldes, pois com apenas um molde, que equivale à metade de uma lateral, será possível construir todas as quatro laterais, que são iguais.

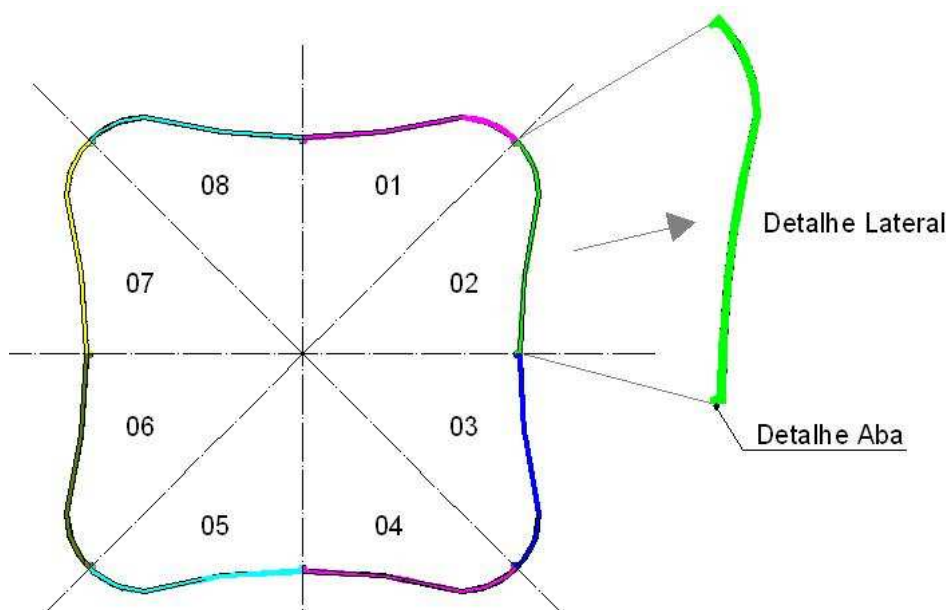


FIGURA 61 – PROJETO LATERAIS DE ADEGA EM COMPÓSITO

A proposta de adega com formas curvas tem também como objetivo um maior reforço mecânico das laterais. O projeto, além de utilizar o compósito e de identificar suas possibilidades de fabricação, objetiva a redução de materiais e moldes durante a fabricação do produto, assim como a possibilidade de modularização na “linha branca” de eletrodomésticos.

Cada peça lateral possui uma “aba” em suas extremidades laterais, necessárias em virtude do isolamento térmico do material – para evitar ponte de perda de refrigeração –, e para fixação mecânica das peças. As “abas”, por estarem inseridas no lado interno da peça, serão impregnadas com poliuretano, o que, além de evitar fuga de ar frio, reforçará mais a estrutura. O poliuretano é aplicado diretamente sobre o compósito (figura 62).

Para realizar a junção das laterais, será necessário que a peça (cada 1/8 das laterais) contenha uma “aba” de cada lado, que será proporcional à aba existente na outra peça. Nas peças laterais 03, 04, 05 e 06 serão retiradas as “abas”, que ficam localizadas nos cantos da adega, para ser possível a colocação das borrachas, que farão o isolamento entre o “corpo” da adega e a porta.

A largura de cada aba é equivalente à metade do espaço necessário para a instalação da borracha de geladeira. Portanto, a retirada das duas abas, entre as peças 03 e 04 e entre as peças 05 e 06, será suficiente para a colocação da borracha nos dois lados da peça (figura 63).

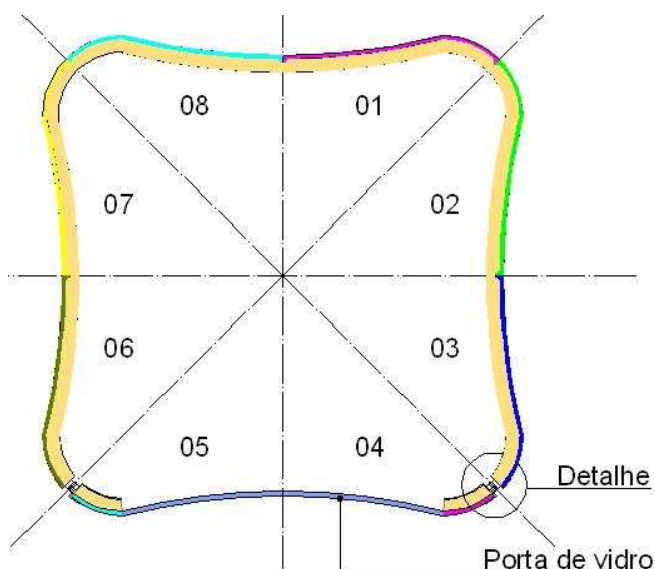


FIGURA 62 – PROJETO LATERAIS DE ADEGA EM COMPÓSITO E PUR

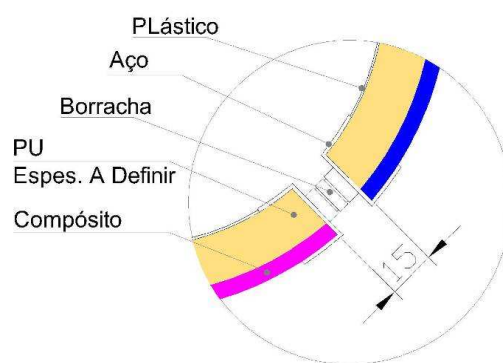


FIGURA 63 – DETALHE INSTALAÇÃO DA BORRACHA

Nesta proposta já foi considerada uma menor espessura da parede de poliuretano, com 22 mm, em comparação com a espessura tradicionalmente aplicada nas laterais de uma adega, 25 mm. Isto, porque o ensaio de resistência térmica indicou uma pequena, mas existente, diminuição de poliuretano, quando for utilizado o compósito madeira/plástico.

Além de ser possível a fabricação de todas as oito peças, que formam as quatro laterais da adega, com apenas um molde, também é possível fabricar o tampo e a base da adega utilizando apenas uma matriz (figura 64).

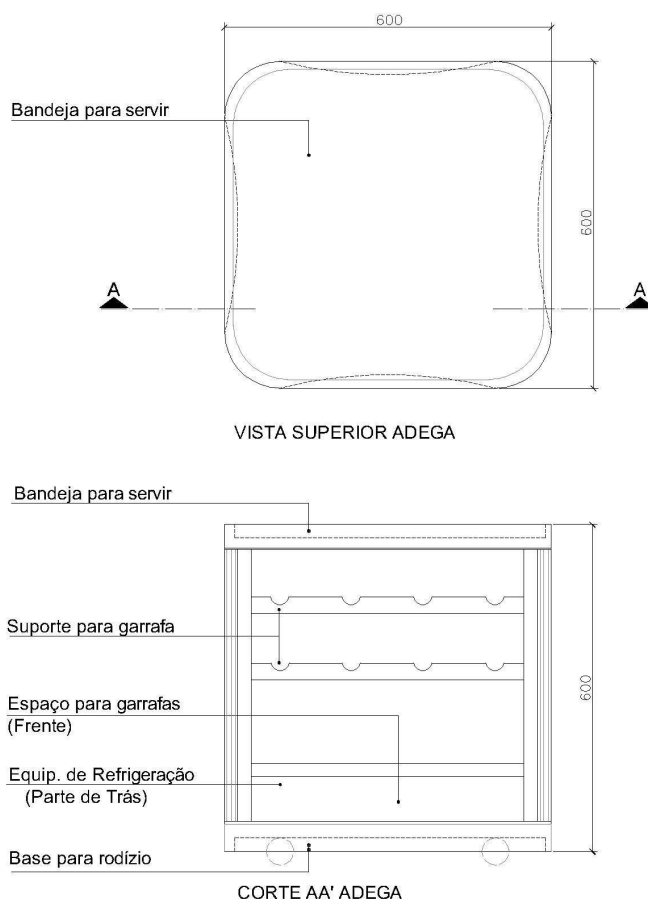


FIGURA 64 – VISTA SUPERIOR E CORTE ADEGA

A bandeja e a base possuem o mesmo formato e dimensão, apenas nos sentidos opostos e com utilizações diferentes, pois, o tampo servirá como bandeja

para acomodar garrafas, enquanto a base servirá para esconder os rodízios. Este uso da adega será totalmente possível, pois o compósito revestido com impermeabilizante e verniz à base de água – acabamento escolhido para esta proposta – não permitirá que o gabinete absorva água, quando exposto a ela.

Também foram observadas as propriedades de isolamento elétrico do compósito, que irá conferir segurança na utilização do produto, pois é baixo o risco de choque elétrico ao tocá-lo e ao manusear material úmido sobre a adega.

A porta de vidro é inteira, evitando-se adicionar mais uma peça de compósito ao conjunto, o que não prejudicará a eficiência térmica do produto. O visual do produto, com gabinete em compósito, pode ser visualizado na figura 65.

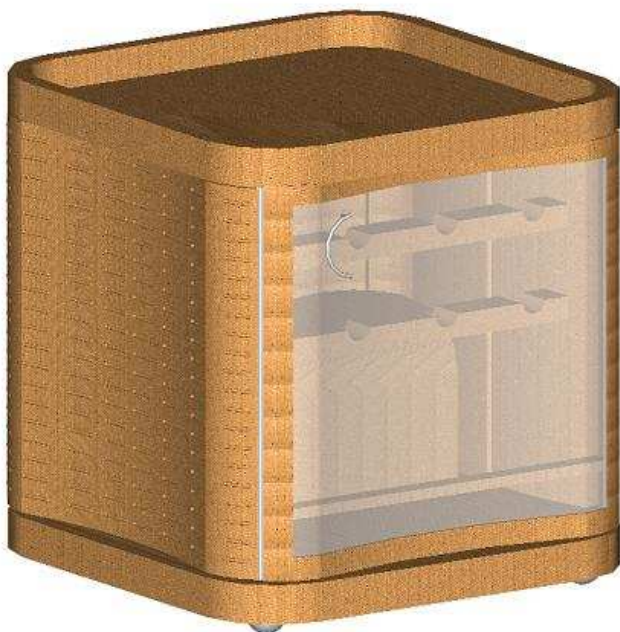


FIGURA 65 – MODELO DE ADEGA FABRICADA COM COMPÓSITO

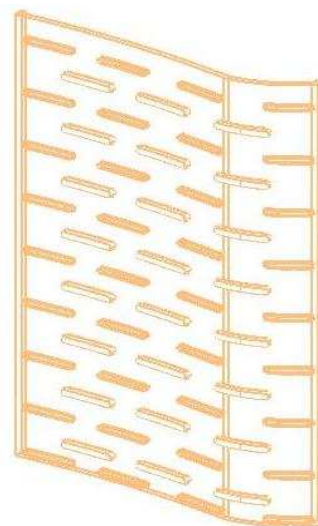


FIGURA 66 – EXEMPLO DE RANHURA

O produto proposto apresenta, também, ranhuras em suas paredes laterais, sendo projetadas de forma inversa – compensação – na parte interna das laterais da adega. Estas ranhuras devem existir de ambos os lados de uma lateral,

para evitar pontos frágeis, ou seja, partes mais finas da lateral, o que ocasionaria uma perda de refrigeração por estes locais.

Este detalhe de ranhuras (figura 66), além de permitir diferenciação da forma, permitirá maior fixação de poliuretano nas partes internas das laterais, contribuindo, desta forma, para um maior reforço mecânico. Estas ranhuras, porém, não podem ser muito profundas, devendo ser no máximo de 20% da espessura da parede lateral. Isto também irá diminuir acúmulos de sujeiras e facilitar a limpeza do produto.

O espaço interno é equivalente ao de uma adega tradicional, sendo esta com dimensão semelhante à da proposta neste estudo. Um outro detalhe deste projeto é o fato do fio de energia poder ser totalmente escondido na parte inferior da adega, juntamente com os rodízios, sendo possível utilizar a adega como se fosse um mobiliário de apoio.

O projeto da adega também foi desenvolvido com o objetivo de permitir modularização, com facilidade e segurança. A utilização de rodízios – que podem apresentar travas, porém, aqui foi sugerido o uso de rodízios sem estas – facilita a movimentação e transporte da adega, além, de possibilitar o travamento das peças ao realizar a modularização. Pois, o rebaixo existente no tampo e na base (que também é possível de se fabricar com o compósito) permite que ao se colocar uma adega sobre a outra, os rodízios sirvam como trava, evitando que a adega se desloque (figura 67).



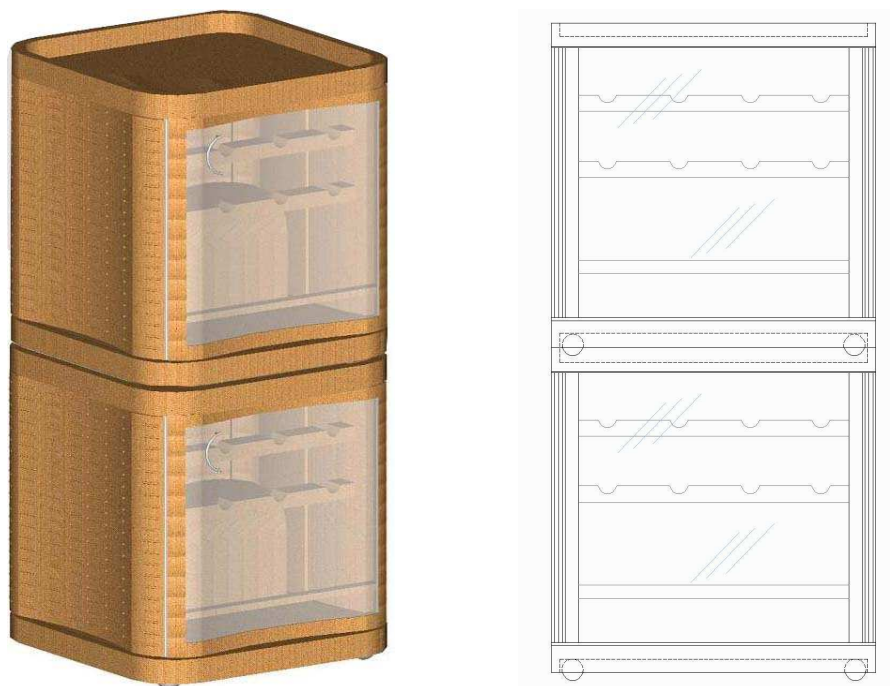


FIGURA 67 – EXEMPLO DE MODULARIZAÇÃO

Quando apresentado esse projeto de adega, a uma empresa de eletrodomésticos, para verificar se esse design seria possível, as formas arredondadas, as laterais “montadas” e a proposta de modularização, não foram vistas como uma restrição de aplicabilidade produtiva.

O importante, e que deve ser avaliado, é a fixação dos módulos, que devem possuir boa vedação para permitir a injeção do poliuretano sem que existam vazamentos, além de não se deformarem com a pressão de injeção. Nesse caso, a forma arredonda ajuda na estrutura, evitando possíveis deformações, já que a curva orienta a estrutura de tensão da peça.

Esta proposta conceitual, que não tinha objetivo de apresentar a metodologia de execução de forma detalhada, e também não foi desenvolvida praticamente, permitiu a aplicação dos resultados alcançados na fase de ensaios, apresentando um produto com formas diferenciadas de tudo que existe no mercado de “linha branca”.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Trabalhar com compósito madeira/plástico foi uma experiência enriquecedora, por ter sido um material fabricado em laboratório, sendo, desta forma, possível experimentar os “erros” dos experimentos, além da satisfação de ver o produto moldado.

Esta proposta foi interessante, pois estudar a possibilidade de aplicar um material compósito, desenvolvido com resíduo de madeira e uma porcentagem de polímero (plástico), em gabinetes de eletrodomésticos, onde até o momento reina absoluta a chapa de aço, com algumas aplicações de plástico e chapa de alumínio, foi no mínimo muito corajoso.

Em um primeiro momento, não é aceita a utilização de madeira em partes externas de produtos que vão estar em contato com ambientes úmidos. Porém, com os ensaios realizados e com a demonstração que o material já é empregado em produtos que possuem contato com a umidade, cria-se um senso de aceitação nas pessoas. Também tem o lado cultural, que aqui nesta pesquisa, por possuir um foco no desenvolvimento do compósito e suas propriedades para aplicação na “linha branca”, não foi analisado, pois o produto, na pesquisa, foi apresentado apenas em forma conceitual, não sendo possível desenvolvê-lo praticamente.

A proposta traz ao meio acadêmico um assunto que ainda não foi abordado e explorado, sendo uma base para novas pesquisas, neste assunto de novos materiais a serem aplicados na “linha branca”. Em termos industriais, este estudo também é de grande importância, pois estudos e investimentos em novos materiais e processos são de grande valor na linha de produção.

A aplicação de um novo material (feito com resíduos de outras produções) em uma linha de produção como a da “linha branca”, pode ocasionar uma linha de produtos diferenciados, não deixando de ser um desafio para este tipo de indústria, que sempre está em busca de novas alternativas e tecnologias para encantar o consumidor.

Em plena época de questionamentos sobre a questão ambiental, a utilização de resíduos de produção, e a aplicação destes, na fabricação de outros produtos que utilizam materiais considerados impactantes, como é o caso da chapa de aço, é muito recompensador. A empresa não necessariamente precisa ter toda a sua produção com utilização deste material, mas pode possuir uma linha de produção com maior apelo ambiental, explorando gostos e captando a atenção de pessoas inovadoras e conscientes com o meio em que vivemos.

Em um primeiro momento, o investimento se torna um pouco alto, pois o processo de produção fica distante do utilizado pelas empresas fabricantes de eletrodomésticos. Porém, investimentos em novos materiais e tendências oferecem retornos relevantes em termos de conhecimentos, reconhecimento e mesmo financeiros.

Embora não tenha sido possível a aplicação prática do compósito em um produto eletrodoméstico da “linha branca”, a proposta tem sido bem aceita pelas pessoas que tem conhecimento dela, por ser algo inovador dentro de uma linha de produção de dimensão (e expansão) considerável como a “linha branca”.

Em termos de design, a abordagem experimental gera vários benefícios, pois, ensaiar novos materiais permite avaliar novas vertentes dos mesmos, seus processos e acabamentos, além de formas e simbologias. O design não é estático e nem rígido, ele é racional e precisa ser conciliado com a realidade do mercado. O

design compreende muito mais do que um projeto em um papel ou em um meio eletrônico, compreende a busca de soluções e de novas alternativas para produtos ou serviços que estão à disposição de todos no mercado, ou que ainda não existem.

A pesquisa de novas aplicações em produtos, e a utilização de novos materiais, ocasiona uma maior valorização da área de design, ao se fazer um viés com a área de engenharia, física e mesmo humana, contribuindo para que o design se explique e se consolide.

De todo este processo percorrido é possível extrair, através dos resultados alcançados, que nenhuma pesquisa é concluída em um primeiro estudo, mas é uma forte base para outras que a concluirão. Na fase experimental ocorreram erros, alguns resultados distintos dos esperados e mesmo desencontros com o real tempo disponível para a pesquisa, o que também contribuiu para um não maior adiantamento do trabalho.

Com relação aos resultados alcançados nesta pesquisa é possível listar as seguintes conclusões, sobre a utilização de compósito madeira/plástico em gabinete de eletrodomésticos “linha branca”, e sobre suas propriedades:

- a. As densidades analisadas e pretendidas, através dos cálculos de quantidades de matérias-primas (partículas de madeira e resina), que deveriam ser de  $0,7 \text{ g/cm}^3$  e  $0,9 \text{ g/cm}^3$ , sofreram variação entre corpos-de-prova, apresentando média inferior a estas densidades;
- b. Os ensaios de inchamento e absorção de água demonstraram que o compósito tem boa resistência à água, em especial se for isolado com impermeabilizante ou tinta;
- c. A utilização de maior percentual de resina, e também da utilização da resina melamina, contribuíram para uma

- considerável resistência do material compósito à água;
- d. O ensaio de resistência térmica confirmou a baixa condutividade térmica do compósito e a possibilidade de redução da espessura de PUR, ao se utilizar compósito nos gabinetes de refrigeradores;
  - e. O ensaio de rigidez dielétrica (resistência elétrica) comprovou a eficiência do compósito em isolamento elétrico, mesmo na presença de umidade;
  - f. A análise realizada pelo programa *SimaPro* para comparação do impacto ambiental dos produtos compósito e chapa de aço, no estudo de análise de ciclo de vida, confirmou que o compósito, mesmo com a utilização de resina formaldeído de média emissão de formol, é em média 50% menos impactante para o meio ambiente, se comparado com a chapa de aço pré-pintada;
  - g. Na comparação de peso entre o compósito e a chapa de aço, ficou confirmado que o compósito, na espessura de 5 mm – dez vezes mais espesso que a chapa de aço –, apresenta peso inferior se a densidade utilizada for de 0,7 g/cm<sup>3</sup> ou inferior a isto. Caso tenha densidade superior a 0,7 g/cm<sup>3</sup>, o peso tende a se equiparar, e acima de 0,9 g/cm<sup>3</sup> o compósito passa a ficar mais pesado do que a chapa de aço;
  - h. O compósito permite acabamentos diferenciados, como: verniz, tinta esmalte sintético e tinta a base de água, sendo que o melhor acabamento é o proporcionado pelo verniz, e a densidade que fica mais uniforme é a densidade de 0,9 g/cm<sup>3</sup>, na qual o compósito apresenta menor quantidade de poros abertos;
  - i. A aplicação de compósito, por compressão, em gabinetes de eletrodomésticos permite a utilização de espessuras e densidades diferentes, formas curvas, aplicação de ranhuras e

rebaixos, modularização e minimização de moldes na fabricação.

- j. A proposta conceitual apresentou os principais requisitos para o desenvolvimento de produtos com baixo impacto ambiental, pois, além de utilizar material reciclado em sua estrutura, possui design que contribui para diminuição de ferramentas, ao permitir a fabricação de todas as laterais com apenas um molde. Também permite a diminuição de poliuretano - PUR, embora pouco, mas por ser um produto muito impactante, já é relevante;
- k. A fabricação de compósito é através de processo que consome quantidade significativamente menor de energia do que a fabricação de chapa de aço, isto refletindo no impacto de fabricação do produto e no seu custo final;
- l. O menor peso do compósito (considerando o compósito de densidade  $0,7 \text{ g/m}^3$ ), em comparação com o peso da chapa de aço, facilita o transporte e a logística;
- m. O produto permite empilhamento e modularização, ao se permitir encaixes e formas nos tampos e nas laterais do produto.
- n. Por ser de baixa absorção de água, o uso de compósito na proposta conceitual permite a utilização do produto como bandeja (apoio), e o contato direto do usuário com o produto não oferece riscos, uma vez que possui isolamento elétrico.
- o. Em termos de design a utilização do produto permite novas formas, como laterais curvas e simétricas, tampos com níveis diferentes, paredes com menor isolamento de Poliuretano, cores diferenciadas e possibilidades de ranhuras. Estes aspectos causarão alteração no aspecto simbólico e cultural dos produtos “linha branca”. Aspectos estes que não foram contemplados nesta pesquisa.

- p. Foi realizado ensaio empírico de degradação ambiental do compósito, no qual este apresentou maior rapidez na incorporação ao meio ambiente, comparado com a chapa de aço pré-pintada;

O objetivo da pesquisa foi alcançado, apresentando como problema verificado o fato do compósito de menor densidade –  $0,7 \text{ g/cm}^3$  – ser o que apresenta menor peso, menor condutividade térmica (maior isolamento térmico e consequentemente menor quantidade de isolamento térmico como é o caso do PUR), maior isolamento elétrico (no caso de exposto à umidade) e menor impacto ambiental (ao se comparar com o compósito de densidade  $0,9 \text{ g/cm}^3$ ), porém, apresentar maior absorção de água, por possuir maiores quantidades de poros abertos, devido a menor quantidade de matéria prima prensada.

Esta densidade de compósito também apresenta pior acabamento do que o compósito de maior densidade. Desta forma, a aplicação de compósito com  $0,7 \text{ g/cm}^3$  é mais viável do que o compósito mais denso, em termos de logística, isolamento térmico e elétrico, mas deverá possuir maior quantidade de produto impermeabilizante.

Outro problema verificado é a necessidade de implantação de novo processo de fabricação, de pequena série, o que não é comum nas indústrias de “linha branca”, ocasionando um custo inicial, visto que estas empresas utilizam apenas sistema de produção seriada.

Não foi analisado, nesta pesquisa, o custo do produto feito com compósito, em comparação com produto em chapa de aço, porém, em termos de consumo de energia já ocorre uma grande diferença em favor do uso do compósito.

Em termos de energia, não se estudou a redução do consumo desta no uso dos produtos eletrodomésticos, sendo apenas sugerido a aplicação de novo material, e novo design, em seus gabinetes.

A resina MUF, utilizada nesta pesquisa, foi de baixa quantidade, em virtude da emissão de formaldeído e, também, por ser um produto termorrígido, ou seja, não permitir novo processamento. Desta forma, com menor utilização de resina, além da redução de material de fonte petrolífera, também impactará menos o meio ambiente, mediante sua impossibilidade de reciclagem.

A chapa de aço avaliada nesta pesquisa foi a chapa pré-pintada, com espessura média de 0,5 mm. Não foi considerado revestimento com chapa de aço inox, pois a espessura seria maior, sendo aproximadamente de 8 a 10 mm, o que resultaria em maior peso e também em um maior impacto ambiental, se comparado com a chapa de aço pré-pintada.

Em estudos posteriores recomenda-se:

- a. A redução da quantidade de adesivo MUF e a utilização de resina com baixa emissão de formol;
- b. Aplicação de outros tipos de adesivos, com menor impacto ambiental, como é o caso de resinas termoplásticas. Porém avaliar possibilidade de baixa quantidade de adesivo e de maior quantidade de madeira, quantidades semelhantes as apresentadas nesta pesquisa;



- c. Avaliar novas medidas de condutividade térmica, resistência elétrica, absorção de água e inchamento, ao reduzir a quantidade de resina, ou ao substituir a resina termorrígida por uma termoplástica;
- d. Avaliar o mesmo compósito com densidade inferior possível de se aplicar nesta proposta; densidade esta que não afetará os outros aspectos envolvidos na sua aplicação, principalmente a resistência mecânica, para haver melhorias em termos de peso e de redução da condutividade térmica;
- e. Avaliar a possibilidade de redução da espessura utilizada no compósito, para diminuição da espessura da parede e do peso final;
- f. Aplicar pigmentos durante a fabricação do compósito, para possibilitar maior variedade de cores para o produto e diminuir ainda mais o impacto.

## REFERÊNCIAS

ALIMENA, L.A.M. **Estudo comparativo do coeficiente de condutividade térmica de espuma rígida de poliuretano obtida por reciclagem mecânica e química**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia dos Materiais). Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standart methods of evaluation the properties of woo-base fiber and particle panel materials**. In: Annual Book Standards, ASTM D 3501-76. Philadelphia.(Reapproved, 1986).

ARTEGOR. **Laminados especiais**. 2009. Disponível em: <<http://www.artecola.com.br/menu/laminados-especiais/artegor>> Acesso em 20/03/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. **A indústria elétrica e eletrônica em 2020: uma estratégia de desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/programas/prog02.htm>>. Acesso em 12/04/2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSCIENTIZAÇÃO PARA OS PERIGOS DA ELETRICIDADE – ABRACOPEL. **Estatísticas**. 2009. Disponível em: <<http://www.abracopel.org.br/?s=estatisticas>>. Acesso em 03/05/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS PLÁSTICOS COMPOSTOS – ABMACO. **Quem somos**. 2008. Disponível em: <[http:// www.abmaco.org.br](http://www.abmaco.org.br)> Acesso em 25/02/2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Chapas de madeira aglomerada. Parte 3: métodos de ensaio. **NBR 14810-3**. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Sistemas da Gestão Ambiental – Requisitos com orientações para uso. **ISO 14001**. Segunda Edição. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – **ABRAF**. 2008. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em 11.08.08.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – ACV. **Fases da ACV**. 2010. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/fases>>. Acesso em 23/04/2010.

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – ACV. **O que é ACV**. 2010. Disponível em: <[http://acv.ibict.br/sobre/oquee.htm/document\\_view](http://acv.ibict.br/sobre/oquee.htm/document_view)>. Acesso em 23/04/2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE PRODUTO ELETROELETRÔNICO E ELÉTRICO – **ELETROS**. Disponível em: <<http://www.eletros.org.br/site/quem.php>> Acesso em 11/02/09.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES. **Painéis de madeira no brasil: panorama e perspectivas**. 2008. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2706.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2706.pdf)>. Acesso em 21/02/2010.

BANEMA. **Madeiras e derivados**. 2009. Disponível em: <[http://www.banema.pt/artigos,decking,composito\\_madeira-plastico\\_werzalit](http://www.banema.pt/artigos,decking,composito_madeira-plastico_werzalit)>. Acesso em 23/03/2009.

BOLSONI, E.; **Estudo do reaproveitamento e reutilização das espumas rígidas de poliuretano pós-consumo**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

BOVEA, M. D. ; VIDAL, R. Materials selection for sustainable product design: a case study of wood based furniture eco-design. 2003. **Journal Materials & Design**. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/matdes>> Acesso em 04/08.

BRANDT, C.W.; FRIDLEY, K.J. Effect of load rate on flexural properties of wood-plastic composites. **Wood and Fiber Science**, v.35, n.1,p.135-147, 2003.

BRASTEMP. **Adesivos de micro-ondas**. 2009. Disponível em: <<http://www.brastemp.com.br/ch/vitrines/index.aspx?vc=26684&desc=adesivos-de-micro-ondas>>. Acesso em 10.12.2009.

BRASTEMP. **Frigobares e adegas**. 2009. Disponível em: <<http://www.brastemp.com.br/ch/vitrines/index.aspx?cc=15&desc=frigobares>>. Acesso em 10.12.2009.

BRASTEMP. **Lavadoras**. 2009. Disponível em: <<http://www.brastemp.com.br/ch/categoria/index.aspx?cc=57&desc=lavadoras>>. Acesso em 10.12.2009.

CANTO, E.L. **Plástico: Bem Supérfluo ou mal necessário?**. São Paulo: Editora Moderna, 2004.

CARMEL-ARTHUR, Judith. **Philip Starck**. London: Carlton Books Limited, 2000.

CHAVES, L. I. **Parâmetros ambientais no planejamento de móveis seriados de madeira de acordo com relatos de designers**. 2003. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003.

CLEMONS, C. **Wood-plastic composites in the United States**. Forest Products Journal, v.52, n.6, p.10-18, 2002.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL – CSN. **Aço pré-pintado**. 2009. Disponível em: <[http://www.csn.com.br/portal/page?\\_pageid=456,171039&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.csn.com.br/portal/page?_pageid=456,171039&_dad=portal&_schema=PORTAL)>. Acesso em 25/02/2009.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS METALÚRGICOS – CNM/CUT. **Setor de eletrodomésticos prepara aumentos**. Disponível em: <<http://www.cnmcut.org.br/verCont.asp?id=7986>> Acesso em 11/02/08.

CÔNSUL. **Micro-ondas Cônsul Facilite** . 2010. Disponível em: <<http://www.consul.com.br/Home/Microondas/MicroondasFacilite25litros.aspx>> Acesso em 17/03/2010.

CÔNSUL. **Produtos década de 1950**. 2010. Disponível em: <<http://ww2.consul.com.br/consul/control/cs/br/s3/catalogo?DECADA=50&siglaMenu=PRODUTO&action=exibirCatalogoProdutos>>. Acesso em 17/03/2010.

CÔNSUL. **Produtos década de 1960**. 2010. Disponível em: <<http://ww2.consul.com.br/consul/control/cs/br/s3/catalogo?DECADA=60&siglaMenu=PRODUTO&action=exibirCatalogoProdutos>>. Acesso em 17/03/2010.

CÔNSUL. **Produtos década de 1970**. 2010. Disponível em: <<http://ww2.consul.com.br/consul/control/cs/br/s3/catalogo?DECADA=70&siglaMenu=PRODUTO&action=exibirCatalogoProdutos>>. Acesso em 17/03/2010.

CÔNSUL. **Produtos década de 1980**. 2010. Disponível em: <<http://ww2.consul.com.br/consul/control/cs/br/s3/catalogo?DECADA=80&siglaMenu=PRODUTO&action=exibirCatalogoProdutos>>. Acesso em 17/03/2010.

CÔNSUL. **Produtos década de 1990**. 2010. Disponível em: <<http://ww2.consul.com.br/consul/control/cs/br/s3/catalogo?DECADA=90&siglaMenu=PRODUTO&action=exibirCatalogoProdutos>>. Acesso em 17/03/2010.

CÔNSUL. **Produtos década de 2000**. 2010. Disponível em: <<http://ww2.consul.com.br/consul/control/cs/br/s3/catalogo?DECADA=00&siglaMenu=PRODUTO&action=exibirCatalogoProdutos>>. Acesso em 17/03/2010.

CÔNSUL. **Produtos década de 2000**. 2010. Disponível em: <<http://ww2.consul.com.br/consul/control/cs/br/s3/catalogo?DECADA=00&siglaMenu=PRODUTO&action=exibirCatalogoProdutos>>. Acesso em 17/03/2010.

COSTA, E.C. **Física aplicada à construção – Conforto térmico**. 2ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1974.

CRUZ, M.M.S. **Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela resina ureia-formaldeído**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos). Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

CUNHA, A. M. **As novas cores da “linha branca”: os efeitos da desnacionalização da indústria brasileira de eletrodomésticos nos anos de 1990**. 2003. Tese (Doutorado em ciências Econômicas). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003.

DAKO. **História da empresa**. 2010. Disponível em: <[http://www.dako.com.br/empresa/historia\\_empresa/historia\\_empresa.asp?decada=1935](http://www.dako.com.br/empresa/historia_empresa/historia_empresa.asp?decada=1935)>. Acesso em 23/04/2010.

DARDENE, D.S. **Woodtruder System for Extrusion of Wood Fiber Polímer Composites**. Dave Murdoch. Davis Standart Corporation, 2003.

ECOINDICATOR 99. **Manual para designers**. Disponível em: <[http://www.pre.nl/download/EI99\\_Manual.pdf](http://www.pre.nl/download/EI99_Manual.pdf)> Acesso em 10/08/2010.

EIN ENGINEERING, Co.,Ltda. **Environmental Technology for a cleaner earth**. Japan: EIN ENGINEERING, Co.,Ltda, 2001. Technical Report.

EN 312-3. **Particleboards-Specifications-Part 3**: requirements for boards for interior fitments (including furniture) for use in dry conditions. European Standardization Committee, Brussels. 1996.

FEMA ISOLANTES. **Isolantes Elétricos**. 2010. Disponível em: <<http://www.femaisolantes.com.br/index.php>>. Acesso em 15/04/2010.

GARDNER, D. J. **Compression Molding Wood-Polymer Hybrid Composites**. USA: University of Maine, 2002. Technical Report.

GELADEIRAS ANTIGAS. **Fotos de geladeiras antigas**. 2009. Disponível em: <<http://www.geladeirasantigas.com.br/telas/fotos.html>> Acesso em 15/02/09.

GELADEIRAS ANTIGAS. **História**. 2009. Disponível em: <<http://www.geladeirasantigas.com.br/telas/historia.html>>. Acesso em 15/02/09.

GIULIO, G.; **Setor de tintas cresce, inova e foca na questão ambiental**. Instituto Uniemp, v.3, n.6. Campinas, 2007.

GIUSTINA, M. D. **As madeiras alternativas como opção ecológica para o mobiliário brasileiro**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

GOEDKOOP, M; SPRIESMA, R. The **Eco-Indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Annex**. 2001. Disponível em: <[http://www.pre.nl/download/EI99\\_annexe\\_v3.pdf](http://www.pre.nl/download/EI99_annexe_v3.pdf)> Acesso em 15/02/2010.

GORNI, A.A. **Introdução aos Plásticos**. 2010. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/intropol.html>>. Acesso em 03/02/2010.

GREENPEACE. **Entenda mudanças climáticas**. Disponível em: <<http://p2-raw.greenpeace.org/brasil/greenpeace-brasil-clima/entenda/impactos>> Acesso em 15/02/2010

GUEDES, B; FILKANSKAS, M. **O Plástico**. São Paulo: Livros Érica Ltda, 1986.  
HINRICHES, R; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Editora Thomson, 2004.

INAL – COMÉRCIO DE AÇO. **Portifólio de produtos**. 2009. Disponível em: <[http://csna0004.csn.com.br:7778/portal/page?\\_pageid=701,680492&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://csna0004.csn.com.br:7778/portal/page?_pageid=701,680492&_dad=portal&_schema=PORTAL)> Acesso em 25/02/2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. 2006. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbr\\_eletro/default\\_eletro.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbr_eletro/default_eletro.shtm)> Acessos em 21/02/2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. 2009. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbr\\_eletro/default\\_eletro.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbr_eletro/default_eletro.shtm)> Acessos em 23/03/2010.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *pínus***. 1989. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

KACZMAREK, D.; WORTBERG, J. Extrusão de madeira: uma união promissora entre polímeros e cargas naturais. **Plástico Industrial**, 2004, v.jun, p. 40-51, 2004.

KOENIG, K.M.; SYPKENS, C.W. Wood-plastic composites vie for market share. **Wood and Wood Products**, v.107, n.5, p.49-58, 2002.

LU, J.Z.; WU, Q.; NEGULESCU, I.I. The influence of maleation on polymer adsorption and fixation, wood surface wettability, and interfacial bonding strength in wood-PVC composites. **Wood and Fiber Science**, v.34, n.3, p.434-459, 2002.

MANZINI, E; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Edusp, 2002.

MAPLESTON, P. **Wood composite suppliers are poised for growth in Europe**. Modern Plastic, v.oct., p.41, 2001.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MATOS, M.J, SIMPLÍCIO M.H. Innovation and sustainability in mechanical design through materials selection. **Journal Materials & Design**. 2004. Disponível em <<http://www.elsevier.com/locate/matdes>> Acesso em 04/08.

MATUSITA, A.P. **Mudança estrutural no setor de “linha branca” nos anos 90: características e condicionantes**. 1997. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1997.

**MICASA**. Disponível em <<http://www.micasa.com.br>> Acesso em 05/02/2009.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – MDIC. **Desenvolvimento da produção**. 2007.. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=2&menu=1478>> Acesso em 07/04/2008.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. Carbondale and Edwardsville: Southern Illinois University Press, 1974.

ONO, M. M. **Design industrial e diversidade cultural: um estudo de caso na electrolux do brasil s.a. e multibrás s.a**. 1999. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 1999.

OSTROWER, F. **Universos da arte**. Rio de Janeiro.: Editora Campus, 1983.

PARETO, L. **Resistência e ciência dos materiais**. Barcelona: Editora Hemus, 2003.

PERTICARRARI, D. **Reestruturação produtiva e emprego na indústria de “linha branca” no Brasil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003.

PETUTSCHNIGG, A. J; E, M. Lightweight paper materials for furniture – A design study to develop and evaluate materials and joints. **Journal Materials & Design**. 2005. Disponível em: <[http:// www.elsevier.com/locate/matdes](http://www.elsevier.com/locate/matdes)> Acesso em 04/08.

PINA, A. M. B. **Inovações e trabalho: percepção de trabalhadores e gerentes em uma empresa de “linha branca”**. 2004. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2004.

POLYBLU. **Compostos**. 2009. Disponível em: < <http://www.polyblu.com.br/compostos.php>> Acesso em 23/03/2009.

POLYBLU. **Processos**. 2009. Disponível em: < <http://www.polyblu.com.br/processos.php>> Acesso em 23/03/2009.

PROGRAMA CASA SEGURA. **Estatísticas**. 2007. Disponível em: <<http://www.programacasasegura.org.br/o-programa/estatisticas/>>. Acesso em 21/08/2008.

RAMOS, J. **Alternativas para o projeto ecológico de produtos**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

REVISTA ALUMÍNIO. **Alumínio à vista**. 2009. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br/textos.asp?codigo=10901> >. Acesso em 15/09/2009.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. **Madeiras Espécies: Brasileiras e exóticas**. 2008. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/madeira\\_especies.php?num=231&title=Madeiras brasileiras e exóticas&especie=Pinus-elioti](http://www.remade.com.br/br/madeira_especies.php?num=231&title=Madeiras%20brasileiras%20e%20ex%C3%B3ticas&especie=Pinus-elioti) > Acesso em 03/10/2008.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. **Propriedades de compósitos fabricados com partículas de madeira de eucalipto, poliestireno (PS) e polietileno tereftalato (PET)** . 2005. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=726](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=726)> Acesso em 03/10/2008.

REVISTA DO PLÁSTICO. **Compósito confirma potencial para crescer**. 2006. Disponível em: < <http://www.plastico.com.br/revista/pm398/noticias/noticias02.html>.> Acesso em 15/03/2009.

SAMSUNG. **Refrigeradores**. 2009. Disponível em: <[http://www.samsung.com/br/consumer/home-appliances/refrigerators/index.idx?pagetype=type\\_p2](http://www.samsung.com/br/consumer/home-appliances/refrigerators/index.idx?pagetype=type_p2)> Acesso em 15/02/2009.



SANPLAST – INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PLÁSTICOS LTDA. **Plástico aditivado com serragem**. 2007. Disponível em: <<http://www.sanplast.com.br/content/view/26/2/>>. Acesso em 15/02/2009.

SAYERLACK. **Linha Ecológica Aquaris**. 2010. Disponível em: <[http://www2.sayerlack.com.br/pt-BR/docs/Esmalte\\_Aquaris\(1\).pdf](http://www2.sayerlack.com.br/pt-BR/docs/Esmalte_Aquaris(1).pdf)> Acesso em 05/03/2010.

SAYERLACK. **Linha Ecológica Aquaris**. 2010. Disponível em: <[http://www2.sayerlack.com.br/pt-BR/docs/Verniz\\_exterior\\_Aquaris\(1\).pdf](http://www2.sayerlack.com.br/pt-BR/docs/Verniz_exterior_Aquaris(1).pdf)> Acesso em 05/03/2010.

SCHUT, J.H. For compounding, sheet & profile, wood is good. **Plastics Technology**, v.45, n.3, p.46(7), 1999.

SHERWIN, C (2004). Design and sustainability: A discussion paper based on personal experience and observations. **The Journal of Sustainable Product Design**. Springer 2006.

SILVA, N. S. **Reestruturação produtiva e gênero: um estudo de caso em duas empresas de “linha branca”**. 2005. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2005.

SPECIALCHEM. **Additive developments aid growth in wood-plastic composites**. 2003. Disponível em: <<http://www.specialchem4polymers.com>> Acesso em: 15 Fev. 2009.

TEKNO – INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE AÇO. **Produtos**. 2009. Disponível em: <<http://www.tekno.com.br/produtos.html>> Acesso em 25/02/2009.

TINTAS E VERNIZES. **Guia técnico ambiental**. 2006. Disponível em: <<http://www.abrafati.com.br/bnews3/images/multimidia/Documentos/sbd.pdf>>. Acesso em 17/03/2010.

TIPLER/1. **Física**. 2ª edição. Volume 1. Rio de Janeiro: Editora Guanabara dois, 1984.

TORREIRA, R. P. **Isolamento térmico**. São Paulo: Editora Fulton., 1980.

VALE DO RIO DOCE. **Relatório de sustentabilidade 2009**. Disponível em: <<http://www.vale.com/Util/relatorio-de-sustentabilidade/2009/pt/pdf/Vale-Relatorio-de-Sustentabilidade-2009.pdf>>. Acesso em 12/02/2010.

VERONEZE, S; SANTOS, A; RAZERA, D; SOARES, M; SILVA, S. A Análise Ambiental de Produtos - Design Sustentável: estudo de caso na empresa FLEXIV. In. Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida. **Life Cyclo Design**. 1. Curitiba, 2008.

VICK, C. B. **Adhesive Bonding of Wood Materials**. Forest Products Laboratory. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1999.

YAMAJI, F. M. **Produção de compósito plástico-madeira a partir de resíduos da indústria madeireira**. Tese (Doutor em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

YIN, Roberto. **Estudos de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. São Paulo: Ed. Bookman, 2001.

YOUNGQUIST, J.A. The marriage of wood and nonwood materials. **Forest Products Journal**, v.45, n.10, p.25-30, 1999.

WANKE. **História da empresa**. 2010. Disponível em:  
<[http://beta.wanke.com.br/hp\\_br/empresa/index.php?emp\\_id=historia](http://beta.wanke.com.br/hp_br/empresa/index.php?emp_id=historia)> Acesso em 10/03/2010.

WANKE. **Produtos: lavadora agitação tradicional**. 2010. Disponível em:  
<[http://beta.wanke.com.br/hp\\_br/produtos/index.php?prd\\_id=tradicional](http://beta.wanke.com.br/hp_br/produtos/index.php?prd_id=tradicional)> Acesso em 10/03/2010.

## GLOSSÁRIO

Anodizado - processo de criar um filme de óxido sobre certos metais por meio da imersão em um banho eletrolítico

*Crosslinking* polimérico - ocorre na moldagem, ocasionando um processo de cura, que acopla as duas fases do produto

Higroscopicidade - propriedade que possuem certos materiais de absorver água

Pelotização - processo de aglomeração de partículas ultrafinas de minério de ferro, através de um tratamento térmico

Polímeros - os polímeros são compostos químicos de elevada massa molecular, resultantes de reações químicas de polimerização

Redesign – melhorar o projeto de um produto já existente

## **APÊNDICES**

APÊNDICE A – Entrevista realizada com jorge pietruza

APÊNDICE B – Cálculo densidades

APÊNDICE C – Cálculo absorção de água e inchamento

APÊNDICE D – Resistência térmica

APÊNDICE E – Resistência elétrica

APÊNDICE F – Ensaio empírico de degradação do compósito e da chapa de aço

## APÊNDICE A – Entrevista Antônio Pietruza

Este apêndice contém parte do roteiro da entrevista realizada com Antônio Jorge Pietruza, gerente da área de design da empresa Whirlpool.

## APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA

### PARTE DO QUESTIONÁRIO PARA ANTÔNIO JORGE PIETRUZA (WHILRPOOL)

Data: 19/03/09

1. Por que os eletrodomésticos “linha branca” utilizam chapa de aço em seus gabinetes?

PIETRUZA - Utilizamos o aço pré-pintado por ser uma matéria-prima padrão. A chapa de aço oferece vantagens como poder ser fornecidas cortadas no tamanho necessário para cada tipo de eletrodoméstico.

2. Com relação ao custo, não é um material de alto investimento?

PIETRUZA - quando compradas em grande quantidade, como é nosso caso, o preço se reduz.

3. E a questão ambiental, vocês se preocupam com os gabinetes após o vencimento do seus ciclos de vida?

PIETRUZA – A Whirlpool possui um programa que recolhe o produto usado, se o consumidor comprar um produto novo. O produto recolhido na casa do consumidor vai para desmanche, em local apropriado, sendo todas as peças separadas e recicladas.

4. Existem pesquisas para utilização de outros materiais

PIETRUZA - Não descartamos a possibilidade de uso de um novo material na linha de produção. Possuímos uma equipe de profissionais que trabalham para garantir inovação e novos produtos para a empresa.

5. Além do aço, qual material vocês vêem como futuro para gabinetes de eletrodomésticos?

PIETRUZA - O material mais utilizado, em substituição ao aço, tem sido o plástico, o qual permite moldar e conseguir formas diferenciadas, como é o caso da lavadora Eggo, por exemplo.

6. E uma proposta de utilização de gabinete de eletrodoméstico em madeira, melhor, resíduo de madeira?

PIETRUZA – Poderia ser interessante, talvez não se tratando de toda a linha, mas de uma linha específica, como “Eletrodomésticos Sustentáveis”.

## APÊNDICE B – Cálculo densidades

Este apêndice contém, na íntegra, os cálculos de densidade, realizada nos corpos-de-prova com densidade de 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>.

## SUMÁRIO

1. CÁLCULO DE DENSIDADE CORPOS-DE-PROVA PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA.....	175
2. CÁLCULO DENSIDADE CORPOS-DE-PROVA PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA.....	176
3. CÁLCULO DENSIDADE CORPOS-DE-PROVA PARA ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO.....	177



[illegible][illegible]



### 3. CÁLCULO DENSIDADE CORPOS-DE-PROVA PARA ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO

Corpo-de-prova	Chapa	Densidad e pretendida	Compriment o (mm)	Largura (mm)	Espessura 01 (mm)	Espessura a 02 (mm)	Espessura 03 (mm)	Espessura 04 (mm)	Espessura 05 (mm)	Peso / massa [g]	Espessura média	Volume	Densidade
Corpos-de-prova que serão utilizados no ensaio de absorção e inchamento de água sem pintura	A1	0,9	25,37	25,24	4,80	4,81	4,83	4,82	4,82	2,71	4,82	3083,872	0,88
	A2	0,9	25,33	25,20	4,86	4,89	4,87	4,89	4,88	2,48	4,88	3113,705	0,80
	A3	0,9	25,11	25,40	5,22	5,27	5,25	5,31	5,26	2,76	5,26	3356,072	0,82
	A4	0,9	25,39	25,19	5,48	5,52	5,56	5,58	5,53	2,65	5,53	3539,403	0,75
	A5	0,9	24,96	25,38	5,15	5,13	5,13	5,11	5,11	2,76	5,13	3249,777	0,85
	A6	0,9	25,36	25,25	5,57	5,55	5,57	5,55	5,56	2,89	5,56	3560,29	0,81
	A7	0,9	25,14	25,36	5,08	5,09	5,07	5,08	5,09	2,19	5,08	3240,031	0,88
	A8	0,9	25,35	25,26	5,12	5,17	5,17	5,12	5,16	2,44	5,16	3296,475	0,74
	A9	0,9	25,34	25,14	5,35	5,37	5,38	5,38	5,36	2,42	5,37	3419,672	0,71
	A10	0,9	25,14	25,42	5,04	5,06	5,01	5,04	5,05	2,47	5,04	3220,856	0,77
2,58											5,18		0,78
Corpo-de-prova	Chapa	Densidad e pretendida	Compriment o (mm)	Largura (mm)	Espessura 01 (mm)	Espessura a 02 (mm)	Espessura 03 (mm)	Espessura 04 (mm)	Espessura 05 (mm)	Peso / massa [g]	Espessura média	Volume	Densidade
Corpos-de-prova que serão utilizados no ensaio de absorção e inchamento de água sem pintura	A1	0,7	25,28	25,20	5,29	5,30	5,31	5,25	5,29	1,96	5,29	3368,752	0,58
	A2	0,7	25,34	25,25	5,39	5,38	5,38	5,37	5,34	1,97	5,37	3437,194	0,57
	A3	0,7	25,16	25,11	4,91	4,89	4,96	4,89	4,90	1,55	4,91	3101,979	0,50
	A4	0,7	25,25	25,23	5,10	5,14	5,05	5,09	5,11	1,80	5,10	3247,719	0,55
	A5	0,7	25,29	25,20	5,00	5,01	5,05	5,02	5,03	1,65	5,02	3200,561	0,52
	A6	0,7	24,65	25,67	5,13	5,09	5,13	5,10	5,08	1,62	5,11	3230,901	0,50
	A7	0,7	25,26	24,96	5,11	5,09	5,09	5,09	5,10	1,63	5,10	3212,975	0,51
	A8	0,7	25,23	23,86	5,07	5,08	5,07	5,06	5,05	1,45	5,07	3049,67	0,48
	A9	0,7	25,32	25,24	5,15	5,19	5,13	5,17	5,17	2,21	5,16	3298,914	0,67
	A10	0,7	25,33	25,27	5,04	5,09	5,08	5,11	5,09	1,98	5,08	3252,933	0,61
1,78											5,12		0,55
Corpo-de-prova	Chapa	Densidad e pretendida	Compriment o (mm)	Largura (mm)	Espessura 01 (mm)	Espessura a 02 (mm)	Espessura 03 (mm)	Espessura 04 (mm)	Espessura 05 (mm)	Peso / massa [g]	Espessura média	Volume	Densidade
Corpos-de-prova que serão utilizados no ensaio de absorção e inchamento de água com pintura	A1	0,9	25,38	25,19	4,85	4,81	4,81	4,79	4,81	2,50	4,81	3077,697	0,81
	A2	0,9	25,39	25,21	4,88	4,87	4,83	4,83	4,84	2,37	4,85	3104,397	0,76
	A3	0,9	25,39	25,19	5,31	5,38	5,37	5,42	5,36	2,79	5,37	3432,234	0,81
	A4	0,9	25,23	25,34	5,66	5,69	5,70	5,70	5,70	2,51	5,69	3637,777	0,69
	A5	0,9	25,01	25,30	5,20	5,16	5,20	5,15	5,17	2,76	5,18	3275,13	0,84
	A6	0,9	25,39	25,11	5,28	5,31	5,36	5,36	5,34	2,91	5,33	3398,104	0,86
	A7	0,9	25,34	25,24	5,40	5,44	5,48	5,49	5,46	2,46	5,45	3488,278	0,71
	A8	0,9	25,38	25,21	5,16	5,29	5,27	5,21	5,30	2,50	5,25	3356,547	0,74
	A9	0,9	25,42	25,09	5,46	5,46	5,43	5,45	5,44	2,45	5,45	3474,688	0,71
	A10	0,9	25,33	25,10	5,26	5,24	5,30	5,27	5,25	2,51	5,26	3346,762	0,75
2,58											5,26		0,77

## APÊNDICE C – Cálculo absorção de água e inchamento

Este apêndice contém, na íntegra, os cálculos realizados para verificar a absorção de água e inchamento dos corpos-de-prova com densidade 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, sendo os de densidade 0,9 g/cm<sup>3</sup> testados, também, com impermeabilização (selador).

## SUMÁRIO

1. CÁLCULO ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO CORPOS-DE-PROVA COM DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm <sup>3</sup> .....	180
2. CÁLCULO ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO CORPOS-DE-PROVA COM DENSIDADE PRETENDIDA 0,7 g/cm <sup>3</sup> .....	181
3. CÁLCULO ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO CORPOS-DE-PROVA COM DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm <sup>3</sup> (COM IMPERMEABILIZANTE).....	182
4. CÁLCULO ABSORÇÃO DE SELADOR CORPOS-DE-PROVA COM DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm <sup>3</sup> .....	183

# 1. CÁLCULO ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO CORPOS-DE-PROVA COM DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm<sup>3</sup>

Corpo-de-prova	Chapa	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Espessura 01 (mm)	Espessura 02 (mm)	Espessura 03 (mm)	Espessura 04 (mm)	Espessura 05 (mm)	Espessura E0	Espessura E1-2H	Espessura E2-24H	Inchamento 2H(%)	Inchamento 24H(%)	Desvio Padrão (2H)	Coefficiente de variação
A1	1	0,88	4,80	4,81	4,83	4,82	4,82	4,82	4,90	5,00	<b>1,74</b>	<b>3,82</b>	0,0594	1,5547
A2	1	0,80	4,86	4,89	4,87	4,89	4,88	4,88	4,90	5,10	<b>0,45</b>	<b>4,55</b>	0,0156	0,3418
A3	2	0,82	5,22	5,27	5,25	5,31	5,26	5,26	5,30	5,40	<b>0,72</b>	<b>2,62</b>	0,0269	1,0246
A4	2	0,75	5,48	5,52	5,56	5,58	5,53	5,53	5,54	5,60	<b>0,11</b>	<b>1,19</b>	0,0042	0,3557
A5	3	0,85	5,15	5,13	5,13	5,13	5,11	5,13	5,20	5,39	<b>1,36</b>	<b>5,07</b>	0,0495	0,9768
A6	3	0,81	5,57	5,55	5,57	5,55	5,56	5,56	5,60	5,70	<b>0,72</b>	<b>2,52</b>	0,0283	1,1233
A7	4	0,68	5,08	5,09	5,07	5,08	5,09	5,08	5,10	5,20	<b>0,35</b>	<b>2,32</b>	0,0127	0,5482
A8	4	0,74	5,12	5,17	5,17	5,12	5,16	5,15	5,20	5,30	<b>1,01</b>	<b>2,95</b>	0,0368	1,2453
A9	5	0,71	5,35	5,37	5,38	5,38	5,36	5,37	5,40	5,50	<b>0,60</b>	<b>2,46</b>	0,0226	0,9202
A10	5	0,77	5,04	5,06	5,01	5,04	5,05	5,04	5,10	5,20	<b>1,19</b>	<b>3,17</b>	0,0424	1,3364
<b>INCHAMENTO</b>														

Corpo-de-prova	Chapa	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Peso / massa inicial (g)	Peso / massa após 2H (g)	Peso / massa após 24H (g)	Absorção 2H (%)	Absorção 24H (%)
A1	1	0,88	2,7	3,0	3,4	<b>11,1</b>	<b>25,9</b>
A2	1	0,80	2,4	2,8	3,4	<b>16,7</b>	<b>41,7</b>
A3	2	0,82	2,7	3,2	3,7	<b>18,5</b>	<b>37,0</b>
A4	2	0,75	2,6	3,2	3,7	<b>23,1</b>	<b>42,3</b>
A5	3	0,85	2,7	3,1	3,6	<b>14,8</b>	<b>33,3</b>
A6	3	0,81	2,8	3,3	3,8	<b>17,9</b>	<b>36,7</b>
A7	4	0,68	2,1	2,8	3,3	<b>33,3</b>	<b>57,1</b>
A8	4	0,74	2,4	3,0	3,5	<b>25,0</b>	<b>45,8</b>
A9	5	0,71	2,4	3,2	3,5	<b>33,3</b>	<b>45,8</b>
A10	5	0,77	2,4	2,9	3,4	<b>20,8</b>	<b>41,7</b>
<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA</b>							
			<b>2,5</b>	<b>3,1</b>	<b>3,5</b>	<b>21,5</b>	<b>40,6</b>

2. CÁLCULO ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO CORPOS-DE-PROVA COM DENSIDADE PRETENDIDA 0,7 g/cm<sup>3</sup>

Corpo-de-prova	Chapa	Densidad e (g/cm³)	Espessura 01 (mm)	Espessura 02 (mm)	Espessura 03 (mm)	Espessura 04 (mm)	Espessura 05 (mm)	Espessur a E1- 2H	Espessur a E2-24H	Inchamento 2H (%)	Inchamento 24H (%)
INCHAMENTO	A1	0,58	5,29	5,30	5,31	5,25	5,29	5,32	5,46	0,6	3,3
	A2	0,57	5,39	5,38	5,38	5,37	5,34	5,41	5,50	0,7	2,4
	A3	0,50	4,91	4,89	4,96	4,89	4,90	4,96	5,10	1,0	3,9
	A4	0,55	5,10	5,14	5,05	5,09	5,11	5,17	5,30	1,4	4,0
	A5	0,52	5,00	5,01	5,05	5,02	5,03	5,12	5,23	2,0	4,1
	A6	0,50	5,13	5,09	5,13	5,10	5,08	5,14	5,23	0,7	2,4
	A7	0,51	5,11	5,09	5,09	5,09	5,10	5,15	5,22	1,1	2,4
	A8	0,48	5,07	5,08	5,07	5,06	5,05	5,13	5,27	1,3	4,0
	A9	0,67	5,15	5,19	5,13	5,17	5,17	5,28	5,41	2,3	4,8
	A10	0,61	5,04	5,09	5,08	5,11	5,09	5,15	5,25	1,3	3,3
Média										1,2	3,5

Corpo-de-prova	Chapa	Densidad e (g/cm³)	Peso / massa inicial(g)	Peso / massa após	Peso / massa após 24H(g)	Absorção 2H (%)	Absorção 24H (%)
ABSORÇÃO DE ÁGUA	A1	0,58	1,9	2,7	3,2	42,1	68,4
	A2	0,57	1,7	2,8	3,3	64,7	94,1
	A3	0,50	1,5	2,4	2,7	60,0	80,0
	A4	0,55	1,8	2,7	3,0	50,0	66,7
	A5	0,52	1,6	2,4	2,8	50,0	75,0
	A6	0,50	1,6	2,4	2,8	50,0	75,0
	A7	0,51	1,6	2,4	2,9	50,0	81,3
	A8	0,48	1,4	2,2	2,6	57,1	85,7
	A9	0,67	2,2	2,7	3,4	22,7	54,5
	A10	0,61	1,9	2,9	3,2	52,6	68,4
Média			1,7	2,6	3,0	49,9	74,9

3. CÁLCULO ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO CORPOS-DE-PROVA COM DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm<sup>3</sup> (COM IMPERMEABILIZANTE)

Corpo-de-prova	Chapa	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	INCHAMENTO									
			Espessura 01 (mm)	Espessura 02 (mm)	Espessura 03 (mm)	Espessura 04 (mm)	Espessura 05 (mm)	Espessura E0	Espessura a E1 - 2H	Espessura a E2-24H	Inchamento 2H (%)	Inchamento 24H (%)
A1	1	0,81	4,85	4,81	4,81	4,79	4,81	4,81	4,81	5,00	0,00	3,86
A2	1	0,76	4,88	4,87	4,83	4,83	4,84	4,85	4,87	5,00	0,41	3,09
A3	2	0,81	5,31	5,38	5,37	5,42	5,36	5,37	5,38	5,40	0,22	0,60
A4	2	0,69	5,66	5,69	5,70	5,70	5,70	5,69	5,69	5,80	0,00	1,93
A5	3	0,84	5,20	5,16	5,20	5,15	5,17	5,18	5,20	5,30	0,46	2,40
A6	3	0,86	5,28	5,31	5,36	5,36	5,34	5,33	5,33	5,40	0,00	1,31
A7	4	0,71	5,40	5,44	5,48	5,49	5,46	5,45	5,46	5,60	0,11	2,68
A8	4	0,74	5,16	5,29	5,27	5,21	5,30	5,25	5,26	5,30	0,27	1,03
A9	5	0,71	5,46	5,46	5,43	5,45	5,44	5,45	5,46	5,60	0,28	2,79
A10	5	0,75	5,26	5,24	5,30	5,27	5,25	5,26	5,27	5,30	0,11	0,68
								5,3	5,3	5,4	0,2	2,0

Corpo-de-prova	Chapa	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	ABSORÇÃO DE ÁGUA									
			Peso / massa inicial(g)	Peso / massa massa após	Peso / massa após 24H(g)	Absorção 2H (%)	Absorção 24H (%)					
A1	1	0,81	2,5	2,6	2,9	4,0	16,0					
A2	1	0,76	2,3	2,5	3,0	8,7	30,4					
A3	2	0,81	2,7	2,9	3,2	7,4	18,5					
A4	2	0,69	2,5	2,8	3,8	12,0	52,0					
A5	3	0,84	2,7	2,9	3,3	7,4	22,2					
A6	3	0,86	2,9	3,0	3,2	3,4	10,3					
A7	4	0,71	2,4	2,7	3,3	12,5	37,5					
A8	4	0,74	2,5	2,7	2,9	8,0	16,0					
A9	5	0,71	2,4	2,7	3,0	12,5	25,0					
A10	5	0,75	2,5	2,7	2,7	8,0	8,0					
			2,5	2,8	3,1	8,4	23,6					



#### 4. CÁLCULO ABSORÇÃO DE SELADOR CORPOS-DE-PROVA COM DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm³

Corpo-de-prova		Chapa	Densidade pretendida (g/cm³)	Espessura		Peso / massa inicial(g)	Peso / massa após selador(g)	Volume	Volume após selador	Densidade após selador	Inchamento	Absorção de Selador
				Média Inicial	Central - após selador							
Corpos-de-prova com aplicação de selador	A1	1	0,9	4,81	4,83	2,60	3077,697	3087,92623	0,81	0,84	0,42	4,00
	A2	1	0,9	4,85	4,87	2,53	3104,397	3117,19885	0,76	0,81	0,41	6,75
	A3	2	0,9	5,37	5,39	2,91	3433,234	3447,3044	0,81	0,84	0,37	4,30
	A4	2	0,9	5,69	5,69	2,72	3637,777	3637,77746	0,69	0,75	0,00	8,37
	A5	3	0,9	5,18	5,19	2,87	3275,13	3283,98807	0,84	0,87	0,19	3,99
	A6	3	0,9	5,33	5,33	3,00	3398,104	3398,10366	0,86	0,88	0,00	3,09
	A7	4	0,9	5,45	5,45	2,46	3488,278	3485,71972	0,71	0,76	0,00	7,72
	A8	4	0,9	5,25	5,25	2,66	3356,547	3359,10645	0,74	0,79	0,00	6,40
	A9	5	0,9	5,45	5,47	2,64	3474,668	3487,42369	0,71	0,76	0,33	7,76
	A10	5	0,9	5,26	5,26	2,67	3346,762	3342,31123	0,75	0,80	0,00	6,37
										0,77	0,81	

## APÊNDICE D – Resistência térmica

Este apêndice contém alguns cálculos, de acordo com a física, de resistência térmica do compósito; os resultados, na íntegra, dos ensaios de resistência térmica dos corpos-de-prova com densidade 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>; e também os laudos dos ensaios realizados.

## SUMÁRIO

1. CÁLCULO (DE ACORDO COM A FÍSICA) DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DO COMPÓSITO .....	186
2. TABELAS RESULTADOS ENSAIO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA, DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm <sup>3</sup> E 0,7 g/cm <sup>3</sup> .....	188
3. LAUDOS ENSAIO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA, DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm <sup>3</sup> .....	189
4. LAUDOS ENSAIO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA, DENSIDADE PRETENDIDA 0,7 g/cm <sup>3</sup> .....	200

## 1. CÁLCULO (DE ACORDO COM A FÍSICA) DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DO COMPÓSITO

Antes de iniciar os ensaios laboratoriais considerou-se conveniente alguns cálculos, para verificar o que a literatura fornece sobre a possível redução da camada de PUR, ao se aplicar compósito. As características físicas do compósito, do aço carbono e do Poliuretano utilizadas, estão demonstradas na tabela 17.

TABELA 17 – PROPRIEDADES FÍSICAS: COMPÓSITO, AÇO E PUR

Densidade	Compósito	0,7 gm/cm <sup>3</sup> e de 0,9 gm/cm <sup>3</sup>
	Aço SAE 1020	7850 kg/m <sup>3</sup>
	Poliuretano	38 – 42 kg/m <sup>3</sup>
Condutividade térmica	Compósito	0,1 W/m°C
	Aço SAE 1020	39,4 W/m°C
	Poliuretano	0,022 W/m°C
Espessura avaliada (mm)	Compósito	5
	Aço SAE 1020	0,5
	Poliuretano	Em avaliação

A condutividade térmica da chapa de aço pré-pintada – fabricada em aço zincado e utilizada na “linha branca” de eletrodomésticos – é de 39,4 W/m°C; a condutividade térmica do PUR de 0,022 W/m°C - Densidade 38 – 42 kg/m<sup>3</sup>; e a condutividade térmica considerada para o compósito, foram os valores referentes à chapa de aglomerado, 0,1 W/m°C, com densidade de 700 kg/m<sup>3</sup>, pois ainda não havia sido realizado o ensaio térmico. Para efeito de comparação, o tradicional painel de partículas (aglomerado) tem massa específica entre 350 a 750 kg/m<sup>3</sup> e possui uma condutividade térmica de 0,10 a 0,17 W/m°C.

Com base nestes dados, foram realizados os cálculos de resistência térmica, equiparando compósito e chapa de aço. O objetivo deste estudo foi de indicar a alteração na espessura da parede de PUR, em se utilizando compósito com espessura de 5 mm em substituição à chapa de aço com espessura de 0,5 mm:

$R_t$  = resistência térmica à condução = espessura/condutividade (a área no denominador é considerada unitária)

Cálculo 01:

$$R_{t_{\text{Antes}}} = R_{t_{\text{Depois}}}$$

$$e_{\text{aço}}/k_{\text{aço}} + e_{1\text{PUR}}/k_{\text{PUR}} = e_{\text{C}}/k_{\text{C}} + e_{2\text{PUR}}/k_{\text{PUR}}$$

$$0,0005/39,4 + 0,025/0,022 = 0,005/0,1 + e_{2\text{PUR}}/0,022$$

$$0,00001269 + 1,1363 = 0,05 + \text{PUR}/0,022$$

$$e_{\text{PUR}} = 0,022 (1,1363 - 0,05)$$

$$e_{\text{PUR}} = 0,0238\text{m}$$

Onde:

$e$  = espessura

$K$  = condutividade térmica

## 2. TABELAS RESULTADOS ENSAIO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm³ E 0,7 g/cm³

TABELA 18 – ENSAIO RESISTÊNCIA TÉRMICA PRETENDIDA 0,9 g/cm³

Ensaio	Densidade g/cm³	Temperaturas		Resultado			Desvio Padrão	Coeficiente de variação
		Placa Fria	Placa Quente	Maior	Menor	Média		
RT1	0,85	10.00 °C	38.00 °C	0,0821	0,0749	0,0785	0,0051	6,4708
RT2	0,89	10.00 °C	38.00 °C	0,0789	0,0720	0,0754	0,0049	6,4700
RT3	0,91	10.00 °C	38.00 °C	0,0895	0,0817	0,0856	0,0055	6,4771
RT4	0,86	10.00 °C	38.00 °C	0,0905	0,0826	0,0865	0,0056	6,4736
RT5	0,79	10.00 °C	38.00 °C	0,0837	0,0764	0,0800	0,0052	6,4668
RT6	0,83	10.00 °C	38.00 °C	0,0811	0,0740	0,0775	0,0050	6,4747
RT7	0,81	10.00 °C	38.00 °C	0,0820	0,0748	0,0784	0,0051	6,4693
RT8	0,91	10.00 °C	38.00 °C	0,0790	0,0721	0,0756	0,0049	6,4742
RT9	0,67	10.00 °C	38.00 °C	0,0808	0,0737	0,0773	0,0050	6,4707
RT10	0,73	10.00 °C	38.00 °C	0,0800	0,0730	0,0765	0,0050	6,4778

TABELA 19 – ENSAIO RESISTÊNCIA TÉRMICA PRETENDIDA 0,7 g/cm³

Ensaio	Densidade g/cm³	Temperaturas		Resultado			Desvio Padrão	Coeficiente de variação
		Placa Fria	Placa Quente	Maior	Menor	Média		
RT1	0,61	10.00 °C	38.00 °C	0,0795	0,0725	0,0760	0,0049	6,4748
RT2	0,66	10.00 °C	38.00 °C	0,0780	0,0711	0,0746	0,0048	6,4955
RT3	0,57	10.00 °C	38.00 °C	0,0802	0,0732	0,0767	0,0050	6,4827
RT4	0,62	10.00 °C	38.00 °C	0,0828	0,0756	0,0792	0,0051	6,4721
RT5	0,61	10.00 °C	38.00 °C	0,0799	0,0729	0,0764	0,0049	6,4737
RT6	0,61	10.00 °C	38.00 °C	0,0844	0,0770	0,0807	0,0052	6,4768
RT7	0,67	10.00 °C	38.00 °C	0,0795	0,0726	0,0761	0,0049	6,4798
RT8	0,64	10.00 °C	38.00 °C	0,0796	0,0727	0,0761	0,0049	6,4823
RT9	0,51	10.00 °C	38.00 °C	0,0762	0,0696	0,0729	0,0047	6,4794
RT10	0,57	10.00 °C	38.00 °C	0,0779	0,0711	0,0745	0,0048	6,4748

### 3. LAUDOS ENSAIO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA DENSIDADE PRETENDIDA 0,9 g/cm<sup>3</sup>

Thursday, March 11, 2010, Time 10:51

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT1-1  
Thickness: 5.3721mm  
[ Chapa 01 - 0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	15.25	35.00	-19315	19985		0.1082
-ne-	11.81	38.28	-20000	19999		0.08268
-ne-	10.26	38.11	-20000	19999		0.07880
-ne-	10.01	38.01	-20000	19999		0.07839
-pe-	10.01	38.00	-20000	19999		0.07844
-pe-	10.03	38.00	-20000	19999		0.07848
-pe-	10.04	38.01	-20000	19999		0.07847

Thursday, March 11, 2010, Time 10:56

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.03 °C  
CalibFactor Upper: 0.021364  
Results Upper: 0.08205 W/mK  
Temperature Lower: 38.00 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07487 W/mK  
Percent Difference: 9.15%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.08205	0.07487	0.07846



Friday, March 12, 2010, Time 10:40

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT2-1g  
Thickness: 5.1689mm  
[ Amostra 01 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda	
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]	
-ne-	11.28	37.46	-19642	19989	0.07974	
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07541	
-te-	10.00	38.00	-20000	19999	0.07544	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07541	
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999	0.07542	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07540	

Friday, March 12, 2010, Time 11:11

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.07886 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07196 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.07886	0.07196	0.07541

Friday, March 12, 2010, Time 11:14

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT3-1g  
Thickness: 5.8674mm  
[ Amostra 02 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]	
-ne-	10.61	37.73	-19845	19999		0.08797
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08560
-te-	10.01	38.04	-20000	19999		0.08554
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999		0.08561
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08559
-pe-	10.00	38.01	-20000	19999		0.08558

Friday, March 12, 2010, Time 11:45

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021366  
Results Upper: 0.08951 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.08167 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.08951	0.08167	0.08559

Friday, March 12, 2010, Time 13:01

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT4-1g  
Thickness: 5.9309mm  
[ Amostra 02 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]	
-ne-	11.28	36.19	-18516	19608		0.09240
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08653
-te-	10.02	38.02	-20000	19999		0.08653
-pe-	10.01	38.03	-20000	19999		0.08650
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08652
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08651

Friday, March 12, 2010, Time 13:32

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.09047 W/mK  
Temperature Lower: 38.03 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.08255 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.02	0.09047	0.08255	0.08651

Friday, March 12, 2010, Time 13:37

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT5-1g  
Thickness: 5.4864mm  
[ Amostra 03 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]	
-ne-	11.09	37.41	-19449	19978		0.08377
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08004
-te-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08004
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999		0.08006
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08003
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08003

Friday, March 12, 2010, Time 14:08

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.08370 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07638 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.02	0.08370	0.07638	0.08004

Friday, March 12, 2010, Time 14:11

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT6-1g  
Thickness: 5.3149mm  
[ Amostra 03 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda	
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	10.92	37.60	-19878	19963	0.08095	
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07754	
-te-	10.01	38.04	-20000	19999	0.07748	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07753	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07755	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07754	

Friday, March 12, 2010, Time 14:42

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.08109 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07399 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.08109	0.07399	0.07754

Friday, March 12, 2010, Time 14:43

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT7-1g  
Thickness: 5.3721mm  
[ Amostra 04 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda	
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	10.25	37.94	-20000	19999	0.07924	
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07837	
-pe-	10.01	38.03	-20000	19999	0.07832	
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999	0.07839	
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999	0.07839	

Friday, March 12, 2010, Time 15:09

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.08195 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07478 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.08195	0.07478	0.07837

Friday, March 12, 2010, Time 15:18

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT8-1g  
Thickness: 5.1816mm  
[ Amostra 04 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda	
	[°C]	[°C]	[µV]	[µV]	[W/mK]	
-ne-	11.72	37.15	-19332	19898	0.08137	
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07560	
-te-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07561	
-pe-	10.01	38.03	-20000	19999	0.07557	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07559	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07558	

Friday, March 12, 2010, Time 15:48

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.07904 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07212 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.02	0.07904	0.07212	0.07558

Friday, March 12, 2010, Time 15:52

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT9-1g  
Thickness: 5.2959mm  
[ Amostra 05 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	11.10	37.61	-19863	19931		0.08104
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07726
-te-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07726
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07725
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07725
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999		0.07727

Friday, March 12, 2010, Time 16:23

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021366  
Results Upper: 0.08079 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07372 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.08079	0.07372	0.07726



Friday, March 12, 2010, Time 16:24

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT10-1g  
Thickness: 5.2451mm  
[ Amostra 05 /0,9 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	10.28	37.95	-20000	19999		0.07743
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07652
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999		0.07656
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07650
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07649

Friday, March 12, 2010, Time 16:50

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.08002 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07301 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.08002	0.07301	0.07652

#### 4. LAUDOS ENSAIO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA DENSIDADE PRETENDIDA 0,7 g/cm<sup>3</sup>

Thursday, March 11, 2010, Time 10:24

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT1-07  
Thickness: 5.2133mm  
[ Chapa 02 - 0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07605
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07606
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07605
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07604
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07605
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07604
-te-	10.01	38.03	-20000	19999		0.07602
-pe-	10.01	38.04	-20000	19999		0.07599
-pe-	10.01	38.04	-20000	19999		0.07601
-pe-	10.02	38.03	-20000	19999		0.07604

Thursday, March 11, 2010, Time 10:48

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.07949 W/mK  
Temperature Lower: 38.03 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07253 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.02	0.07949	0.07253	0.07601

Thursday, March 11, 2010, Time 10:59

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT2-07  
Thickness: 5.1118mm  
[ Chapa 01 - 0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	14.97	35.09	-19558	19162		0.09970
-ne-	11.48	38.26	-20000	19999		0.07780
-ne-	10.18	38.10	-20000	19999		0.07481
-pe-	9.96	38.00	-20000	19999		0.07448
-pe-	9.89	37.92	-20000	19999		0.07452
-pe-	9.94	37.91	-20000	19999		0.07469

Thursday, March 11, 2010, Time 11:03

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 9.93 °C  
CalibFactor Upper: 0.021371  
Results Upper: 0.07799 W/mK  
Temperature Lower: 37.94 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07114 W/mK  
Percent Difference: 9.18%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
23.94	0.07799	0.07114	0.07457

Thursday, March 11, 2010, Time 11:06

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT3-07  
Thickness: 5.2451mm  
[ Chapa 01 - 0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda	
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	14.36	35.63	-19889	19730	0.09906	
-ne-	11.16	38.28	-20000	19999	0.07889	
-ne-	10.13	38.09	-20000	19999	0.07663	
-pe-	9.98	37.98	-20000	19999	0.07654	
-pe-	9.96	37.90	-20000	19999	0.07671	
-pe-	9.99	37.90	-20000	19999	0.07680	

Thursday, March 11, 2010, Time 11:10

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 9.98 °C  
CalibFactor Upper: 0.021368  
Results Upper: 0.08020 W/mK  
Temperature Lower: 37.93 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07317 W/mK  
Percent Difference: 9.17%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
23.95	0.08020	0.07317	0.07668

Friday, March 12, 2010, Time 10:04

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT4-07  
Thickness: 5.4293mm  
[ Amostra 02 /0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda	
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	12.03	36.81	-18948	19667	0.08605	
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07921	
-te-	10.01	38.03	-20000	19999	0.07916	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07921	
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999	0.07922	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07919	

Friday, March 12, 2010, Time 10:35

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.08283 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07558 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.08283	0.07558	0.07921

Thursday, March 11, 2010, Time 13:32

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT5-07  
Thickness: 5.2324mm  
[ Chapa 02 - 0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	20.07	28.81	-11804	17247		0.1738
-ne-	15.43	37.30	-19321	19999		0.09519
-ne-	11.85	38.21	-20000	19999		0.08085
-ne-	10.26	38.04	-20000	19999		0.07693
-ne-	10.02	38.01	-20000	19999		0.07638
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999		0.07634
-pe-	10.03	38.03	-20000	19999		0.07637
-pe-	10.04	38.04	-20000	19999		0.07636

Thursday, March 11, 2010, Time 13:37

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.03 °C  
CalibFactor Upper: 0.021364  
Results Upper: 0.07985 W/mK  
Temperature Lower: 38.03 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07286 W/mK  
Percent Difference: 9.15%

Thermal Equilibrium Criteria:

Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.03	0.07985	0.07286	0.07635

Friday, March 12, 2010, Time 09:10

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT6-07  
Thickness: 5.5308mm  
[ Amostra 02 /0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	11.64	37.04	-19410	19702		0.08676
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08069
-te-	10.02	38.04	-20000	19999		0.08064
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08068
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08069
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.08069

Friday, March 12, 2010, Time 09:41

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.08438 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07699 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.02	0.08438	0.07699	0.08068



Thursday, March 11, 2010, Time 14:10

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT7-07  
Thickness: 5.2133mm  
[ Chapa 03 - 0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	21.81	30.75	-12426	17802		0.1758
-ne-	10.62	38.04	-20000	19999		0.07762
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07606
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07606
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999		0.07607
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07604

Thursday, March 11, 2010, Time 14:37

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.07954 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07257 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.07954	0.07257	0.07606

Thursday, March 11, 2010, Time 15:14

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT8-07  
Thickness: 5.2197mm  
[ Chapa 03 - 0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	12.75	37.01	-18926	19684		0.08441
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07615
-te-	10.02	38.02	-20000	19999		0.07616
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07614
-pe-	10.01	38.03	-20000	19999		0.07612
-pe-	10.01	38.01	-20000	19999		0.07616

Thursday, March 11, 2010, Time 15:44

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.07963 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07265 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.07963	0.07265	0.07614

Thursday, March 11, 2010, Time 15:47

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT9-07  
Thickness: 4.9974mm  
[ Chapa 03 - 0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower		Lambda
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	10.75	37.88	-19950	19965		0.07501
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07291
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07290
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07290
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999		0.07290

Thursday, March 11, 2010, Time 16:13

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021366  
Results Upper: 0.07624 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.06956 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units

Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
24.01	0.07624	0.06956	0.07290

Friday, March 12, 2010, Time 08:29

Wintherm32v3 Version 3.20.11  
Instrument: F200  
Instrument Program Version 72  
Instrument Serial Number: 971

Sample Name: RT10-07  
Thickness: 5.1054mm  
[ Amostra03 /0,7 g/m<sup>3</sup> ]  
Thickness obtained : from instrument

TEST RUN

Calibration used : 1450b  
Calibration read from instrument

Number of transducers per plate: 1  
Number of transducers used per plate: 1

Number of Setpoints: 1

	Block Averages for setpoint 1 in SI units					
	Tupper	Tlower	Qupper	Qlower	Lambda	
	[°C]	[°C]	[μV]	[μV]	[W/mK]	
-ne-	12.00	36.72	-18823	19684	0.08091	
-ne-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07448	
-te-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07447	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07448	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07447	
-pe-	10.01	38.02	-20000	19999	0.07448	

Friday, March 12, 2010, Time 08:59

Setpoint No. 1  
Setpoint Upper: 10.00 °C  
Setpoint Lower: 38.00 °C  
Temperature Upper: 10.01 °C  
CalibFactor Upper: 0.021365  
Results Upper: 0.07789 W/mK  
Temperature Lower: 38.02 °C  
CalibFactor Lower: 0.019495  
Results Lower: 0.07107 W/mK  
Percent Difference: 9.16%

Thermal Equilibrium Criteria:  
Temperature Equilibrium: 0.20  
Between Block HFM Equil.: 49  
HFM Percent Change: 2.00  
Min Number of Blocks: 4  
Calculation Blocks: 3

Results Table -- SI Units  
Mean Temp Upper Cond Lower Cond Average Cond

24.01	0.07789	0.07107	0.07448
-------	---------	---------	---------

## APÊNDICE E – Resistência elétrica

Este apêndice contém ensaio empírico de continuidade elétrica do compósito de densidade 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, e também o laudo do ensaio de rigidez dielétrica (resistência elétrica) realizado para verificar o nível de solamento elétrico do compósito, 0,74 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, na presença e na ausência de umidade.

## SUMÁRIO

1. ENSAIO EMPÍRICO DE CONTINUIDADE ELÉTRICA .....	213
2. LAUDO ENSAIO DE RIGIDEZ DIELÉTRICA.....	215

## 1. ENSAIO EMPÍRICO DE CONTINUIDADE ELÉTRICA

Foi realizado ensaio empírico com um multímetro para verificar se o compósito permitia continuidade elétrica.

Quando ocorre a continuidade de energia, o multímetro zera o marcador, indicando que ocorreu transmissão de energia, o que é possível de verificar na figura 68 com o tubo de cobre, altamente condutor elétrico, sendo analisado. Quando o marcador mostra infinito – OL – é indicação que nenhuma corrente está sendo transmitida. Como exemplo, a figura 69, demonstra uma peça de borracha, que é isolante elétrica, sendo analisada, e o multímetro indicou infinito, ou seja, não conduz eletricidade em uma corrente de 9 V.



FIGURA 68 – ENSAIO COM COBRE



FIGURA 69 – ENSAIO COM BORRACHA

Os ensaios de continuidade elétrica também demonstraram que os corpos-de-prova do compósito não apresentam continuidade elétrica na presença de corrente 9 V. Foram ensaiados compósitos com densidade  $0,9 \text{ g/cm}^3$  e  $0,7 \text{ g/cm}^3$ , com umidade e sem umidade, figura 70 e figura 71..

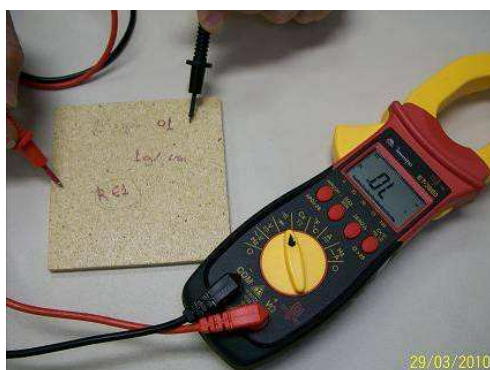


FIGURA 70 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO  
(0,9 g/cm<sup>3</sup>)



FIGURA 71 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO  
(0,7 g/cm<sup>3</sup>)

Outro ensaio realizado foi com as peças de compósito utilizadas no ensaio empírico de degradação do produto, que também demonstraram a mesma situação de isolamento elétrico figura 72 e figura 73.



FIGURA 72 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO  
PEÇA 01 (DEGRADAÇÃO)



FIGURA 73 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO  
PEÇA 02 (DEGRADAÇÃO)

Como a proposta é de aplicação em produtos que estão com frequência em contato com água foi realizado o teste com o compósito umedecido. O resultado apontou negativo para continuidade elétrica (figura 74).



FIGURA 74 – ENSAIO ELÉTRICO EMPÍRICO





COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA  
HVENM - DV DE ENGENHARIA DE MEDICAO

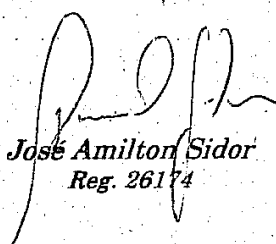
### ENSAIO DE RIGIDEZ DIELETRICA

Material: Compósito madeira/plástico

Especificações: espessura 5 mm; densidades 0,7 g/cm<sup>3</sup> e 0,9 g/cm<sup>3</sup>.

#### Resultados:

- Material sem umidade: todas as peças apresentaram resistência até a tensão de 4KV.
- Material com umidade (água tratada): os resultados da resistência dielétrica atingiram média de 200 V.

  
**José Amilton Sidor**  
Reg. 26174

## APÊNDICE F – Degradação do compósito

Este apêndice contém um ensaio empírico (sem base normativa) para avaliar a degradação do compósito quando exposto ao meio externo (descartado), e compará-lo com a degradação da chapa de aço pré-pintada, quando também descartada.

## 1. DEGRADAÇÃO DAS PEÇAS DE COMPÓSITO NO MEIO AMBIENTE

Foram realizados experimentos empíricos (sem base normativa) com o compósito madeira/plástico e a chapa de aço, utilizada na fabricação de gabinetes de eletrodomésticos. Este ensaio consistiu na exposição ao meio ambiente de duas amostras de compósitos (iguais espessuras e características químicas), e de duas amostras de chapa de aço, também com iguais características.

Uma peça de compósito foi colocada sobre a terra, juntamente com uma amostra de chapa de aço. Também sob a terra foram colocadas a outra peça de compósito e a amostra de aço (figura 75).

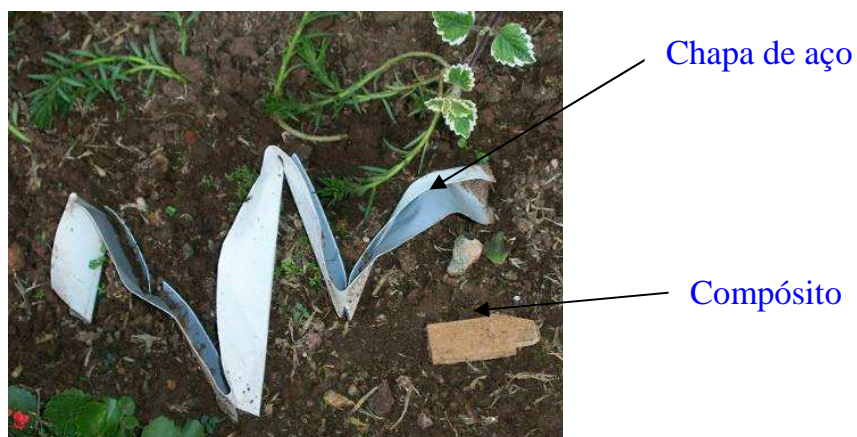










FIGURA 75 – COMPÓSITO E AÇO SOBRE A TERRA.

Após 34 dias da colocação das peças na terra, foram retiradas as peças enterradas e realizadas as comparações com as amostras que estavam por sobre a terra.

Foram realizadas mais quatro avaliações do material em contato com a terra, após 30 / 60 / 90 e 120 dias. Os procedimentos foram os mesmos da análise anterior: compósitos e chapas de aço desterrados, limpeza das peças, avaliação do compósito e das chapas de aço, medição das dimensões e retorno das amostras para o meio ambiente.

## 2. RESULTADOS

A figura 76 apresenta, em forma de tabela, o avanço da degradação das peças de compósito que foram “descartadas” no meio ambiente. É realizada a comparação das cinco avaliações pelas quais as peças de compósito foram submetidas. A figura 76 é composta por dois “vértices”, um horizontal que indica a peça que ficou sob a terra e a peça de compósito que esteve sobre a terra, e uma vertical que indica o tempo decorrido do ensaio. Na figura 76 as duas primeiras peças apresentadas são as peças antes do início do ensaio.

AVALIAÇÃO	PEÇA SOB A TERRA	PEÇA SOBRE A TERRA
ANTES DA AVALIAÇÃO		
30 DIAS		
60 DIAS		
90 DIAS		

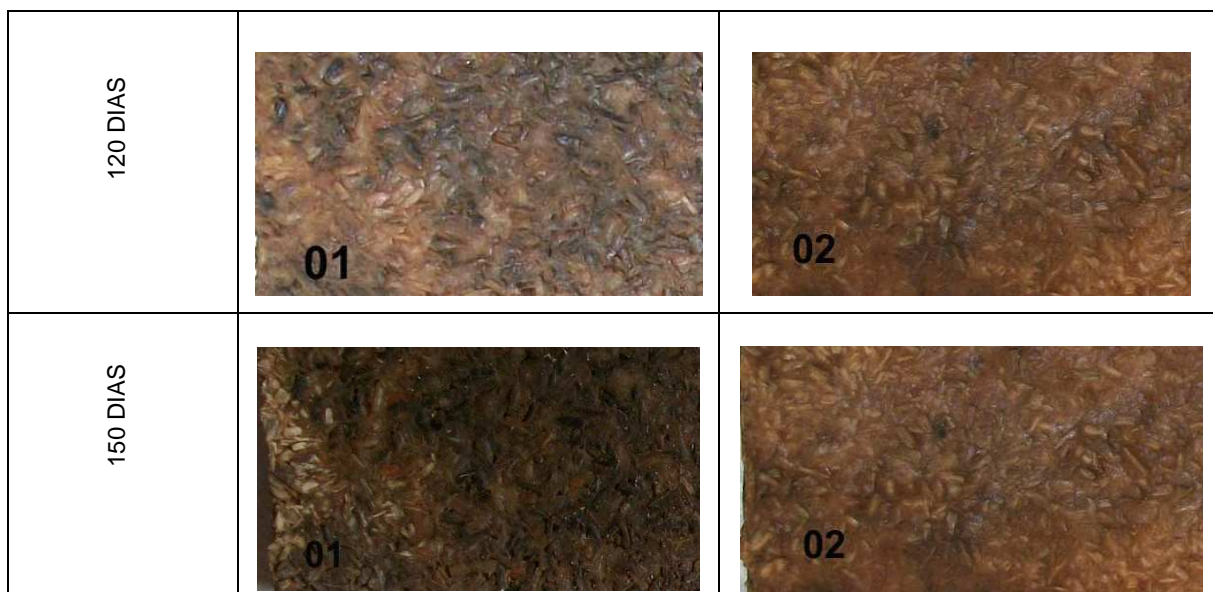


FIGURA 76 – COMPARAÇÃO ANÁLISE DECOMPOSIÇÃO DO COMPÓSITO

Nos primeiros 30 dias de ensaio a degradação foi mais nítida na peça de compósito 01, a qual estava totalmente sob a terra, já apresentando sinais de infiltração e de início de apodrecimento. A peça 02, que estava sobre a terra, apresentou-se apenas com aspecto ressecado, ocasionado pela exposição ao sol. Nenhuma das peças apresentou fragilidade (quebra) e nem porosidade, também não apresentavam excesso de inchamento.

Após 30 dias em que as peças foram novamente expostas às intempéries, realizou-se avaliação. Depois de retirado o excesso de terra, a diferença de degradação entre as duas peças foi maior. A peça 01 (que estava sob a terra) apresentou grande decomposição ao compará-la com a peça 02 (sobre a terra), pois além de um maior apodrecimento de suas partículas de madeira e uma maior perda de resina. Também, apresentou estrutura fragilizada, dividindo-se em duas peças durante a sua limpeza. A peça 02, entretanto, apresentou-se apenas um pouco mais escura e mais ressecada.

Após 90 dias de ensaio as peças de compósito não apresentaram grande diferença de degradação em relação às analisadas anteriormente.

Decorridos 120 dias de exposição às intempéries, as peças demonstraram também progresso pequeno na degradação do material, comparado à avaliação anterior, o que diferenciava era uma maior quantidade de partículas apodrecidas na peça 01 (sob a terra), e um maior escurecimento, no centro, da peça 02 (sobre a terra).

Após 150 dias em que os materiais estavam em avaliação, foi realizada a análise final, ambas as peças de compósito apresentavam-se um pouco mais decompostas em comparação com a análise anterior. Porém, ao comparar o aspecto das peças após 150 dias de ensaio com o aspecto destas antes do ensaio, é visível a perda de resina que revestia as partículas de madeira, principalmente na peça que estava sob a terra, sem contato com a luz solar, sendo por este motivo que apresentava-se mais fragilizada.

As peças não alteraram suas dimensões, nem suas espessuras durante a avaliação. Ocorreu o contrário: o compósito 01, em especial, teve redução em sua espessura, resultante da perda de resina e da decomposição iniciada.

As amostras de aço, entretanto, apresentaram pouca alteração, apenas com inícios de pontos de oxidação na peça 01, que estava sob a terra e na peça 02 que estava sobre a terra, figura 77.

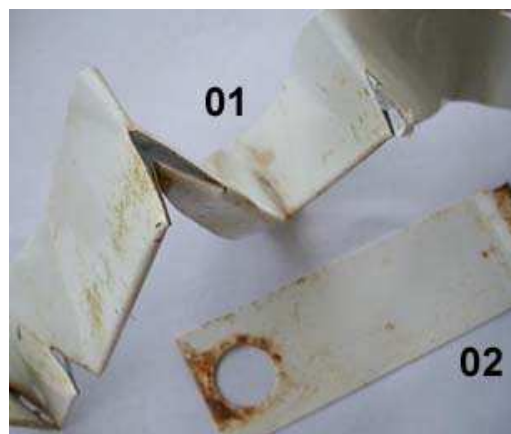


FIGURA 77 – ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DAS CHAPAS DE AÇO

## ANEXO A – Boletim técnico da farinha de Madeira

Inbrasfama





INBRASFAMA IND. BRASILEIRA DE FARINHA DE MADEIRA LTDA

DE : INBRASFAMA IND. BRASIL DE FARINHA DE MADEIRA LTDA  
 PARA: DEPRATAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE  
 REF.: LAUDO DE ANALISE DE FARINHA DE MADEIRA  
 PRODUTO: 2042 UMIDADE : 10

CLIENTE:  
 ANALISTA:  
 DATA:

Nº:

LOTE:

DATA 29.03.05

30= 15.2

40= 55.6

50= 18.6

60= 3.8

70= 5.8

80= 06

100=04

140=00

200=0.0

FUNDO:0.0

TOTAL:100

UMIDADE DO AR: 8% TEMP. AMBIENTE: 20°C DENSIDADE: 0.14

ELABORAÇÃO:	APROVAÇÃO:
CARGO: ANALISTA	CARGO : SUPERVISOR DE PRODUÇÃO
RESPONSÁVEL: ELIZABETE	RESPONSÁVEL:
DATA: 29.03.05	DATA:
ASSINATURA	ASSINATURA: